



TUGAS AKHIR -TE 141599

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *INTERLEAVED BOOST CONVERTER* UNTUK APLIKASI *PHOTOVOLTAIC*

Aufar Gusviandi Pratama
NRP 2210 100 081

Dosen Pembimbing
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT -TE 141599

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF INTERLEAVED
BOOST CONVERTER FOR PHOTOVOLTAIC MODULE
APPLICATION**

Aufar Gusviandi Pratama
NRP 2210 100 081

Advisor
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *INTERLEAVED*
BOOST CONVERTER UNTUK APLIKASI
*PHOTOVOLTAIC***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

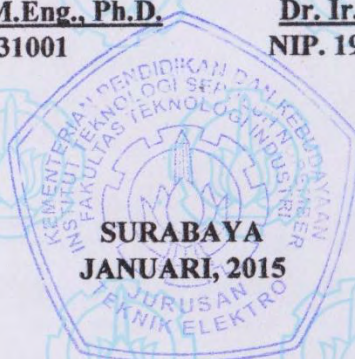
Menyetujui:

Dosen Pembimbing 1
23/01/15

Dosen Pembimbing 2

Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197311192000031001

Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
NIP. 195512071980031004



DESAIN DAN IMPLEMENTASI *INTERLEAVED BOOST CONVERTER* UNTUK APLIKASI *PHOTOVOLTAIC*

Aufar Gusviandi Pratama
2210100081

Dosen Pembimbing 1 : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

Dosen Pembimbing 2 : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRAK

DC-DC *Converter* adalah rangkaian elektronika daya yang mengubah tegangan DC ke tahap tegangan DC dengan keluaran yang berbeda. DC-DC *Converter* terdiri banyak jenis, salah satunya adalah *Boost Converter* konvensional. Namun, *boost converter* konvensional memiliki banyak kekurangan, yaitu keberadaan *ripple* arus *input* dan *ripple* arus *output* yang akan mengurangi efisiensi dari konverter. Oleh karena itu, *boost converter* konvensional dikembangkan lagi menjadi rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*.

Dalam Tugas Akhir ini, akan dilakukan perancangan dan implementasi dari rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* dan *boost converter* konvensional sebagai rangkaian pembandingan. Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* memiliki fungsi yang sama dengan *boost converter* konvensional. Akan tetapi *Interleaved Boost Converter* memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan rasio konversi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *boost converter* konvensional.

Dalam implementasinya, *Interleaved Boost Converter* dapat menghasilkan efisiensi sebesar 87.76%, lebih tinggi dibandingkan *boost converter* konvensional yang hanya mampu menghasilkan efisiensi sebesar 84.33% pada tegangan *input* 18 V dan *output* 60 V. Rasio konversi dari rangkaian *Interleaved Boost Converter* juga lebih tinggi dibandingkan dengan *boost converter* konvensional pada *duty cycle* 70%.

Kata kunci : *Interleaved Boost Converter*, konvensional, konversi, *ripple*, efisiensi, *duty cycle*.



DESIGN AND IMPLEMENTATION OF INTERLEAVED BOOST CONVERTER FOR PHOTOVOLTAIC MODULE APPLICATION

Aufar Gusviandi Pratama
2210100081

1st Advisor : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
2nd Advisor : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRACT

The DC-DC Converter, as known by the Conventional Boost Converter, is a power electronic circuit that convert DC to DC voltage with variety output. Generally, the DC-DC converter is functioned for increasing and decreasing the voltage. Unfortunately the conventional type of Boost Converter has many disadvantages because they are still generating the high input current ripple and output current ripple affecting the decreasing of the current efficiency. That's why the boost converter is developed to the next type as known by the DC-DC Interleaved Boos Converter.

In this script we are going to try to design and implementing the circuit of DC-DC Interleaved Boss Converter and of course by using the conventional boost converter as a reference circuit. The DC-DC Interleaved Boost Converter circuit has the same function with the conventional boost converter but they has higher efficiency and conversion ratio than conventional boost converter.

In it's implementation, the DC-DC Interleaved Boost Converter able to generate up to 87.76% of efficiency while the conventional boost converter only reach up to 84.33% at the input voltage of 18V DC and output voltage of 60V DC. The conversion ratio of DC-DC Interleaved Boost Converter circuit also higher than conventional boost converter at the duty cycle of 70%.

Keywords : *Interleaved Boost Converter, conventional, conversion, ripple, efficiency, duty cycle.*



KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT karena atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “***Desain dan Implementasi Interleaved Boost Converter untuk Aplikasi Photovoltaic***”.

Tugas Akhir ini dilaksanakan guna memenuhi salah satu syarat kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Laporan Tugas Akhir ini disusun berdasarkan pembelajaran yang diperoleh selama kuliah melalui pembimbing maupun studi literatur yang tersedia.

Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik apabila tidak mendapat dukungan penuh dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, karena telah memberikan keberkahan, kerahmatan, serta keselamatan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua penulis, Budi Setiono dan Evi Heltysiana yang selalu memberikan dukungan moral, mental, maupun finansial kepada penulis.
3. Kedua dosen pembimbing penulis, Bapak Dedet Candra Riawan, ST. M.Eng., Ph.D., dan Bapak Dr. Ir. Soedibyo, M.MT. yang tiada lelahnya membimbing, mengarahkan, dan menuntun penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Seluruh civitas akademika ITS, dosen, staff, dan warga Elektro ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.
5. Adik tercinta, Benathavia Di Ayesha yang selalu memberikan Doa, semangat dan motivasi kepada penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Segenap keluarga besar Mbah Suyono (Alm) dan Eyang Uti Darsinah di Jakarta yang tidak ada hentinya memberikan Doa, semangat, dan motivasi kepada penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir.

7. Segenap keluarga besar Mbah Ramelan (Alm) dan Mbah Siti Aisyah di Surabaya yang juga tiada hentinya memberikan Doa, semangat, dan motivasi kepada penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Bapak Bahrum, dan Saudara-saudara terdekat penulis yang selalu memberikan Doa, semangat dan motivasi kepada penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir.
9. Teman-teman Dreamkost, Kimak, Gondes, Aan, Bagus, Ocu, Lukman, Rama, Caca, Fahad. *Put your hands up guys!*
10. Teman-teman Gudang Team, Wawan, Imam, Duddin, Rholly, Arie, Sidqi, Reja, Ananta, Bagus, Angga, Wahyu, Yoga. *Keep solid guys!*
11. Teman-teman Teladan@SUB SMAN 3 Jakarta, Kelvin, Oza, Pepe, Gentur, Okki. *Keep rockin' sob!*
12. Teman-teman Bengis 3 Teladan, Boy, Rizano, Yandra, Efrata, Della, Reni, Pingkan. *Keep random in action guys!*
13. Teman-teman geng gambreng 3 XE, Ega Cideng, Agung Jadul, Kelvin. *We are oke coy!*
14. Teman-teman Bubble Hunter, Arie, Bagus, Reza Imaduddin, Resti, Rayi, Putri, Adi. *Keep laughing guys!*
15. Teman-teman Lab KE, Huda, Sidqi, Radi, Anggawa, Djainal, Bayu, Toni, Brevi, Ivan. *Thanks for sharing your knowledge friend!*
16. Teman-teman e50 yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu. Terima kasih untuk persahabatannya selama ini. *Keep solid!*
17. Teman-teman Aviation Enthusiast, Flight Simulator, Plane Spotting, Arie, Reza Imaduddin, Adi, Boy, Ega Cideng. *We are PK-CGK and PK-SUB, soon to be next Pilot or desktop Pilot!*

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini belum sempurna, oleh karena itu kritik dan saran penulis harapkan demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga lapran Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat umum.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	
LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan.....	4
1.5. Metodologi.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 INTERLEAVED BOOST CONVERTER PADA SISTEM PHOTOVOLTAIC	
2.1. Sel Surya (<i>Photovoltaic</i>).....	7
2.2. DC-DC <i>Boost Converter</i>	9
2.3. DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i>	11
2.4. Konsep Dasar <i>Interleaving</i>	12
2.5. Analisis Prinsip Kerja Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i>	13
2.5.1. Mode Operasi 1.....	13
2.5.2. Mode Operasi 2.....	15
2.5.3. Mode Operasi 3.....	16
2.5.4. Mode Operasi 4.....	17
2.6. Penentuan Parameter Induktor dan Kapasitor.....	19
2.6.1. Induktor.....	19
2.6.2. Kapasitor.....	20
2.7. <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	21

2.8. Rangkaian <i>Optocoupler</i>	21
2.9. Mikrokontroler	22

BAB 3 DESAIN DAN SIMULASI RANGKAIAN DC-DC INTERLEAVED BOOST CONVERTER

3.1. Desain Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i>	25
3.1.1. Model Simulasi Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i>	25
3.1.2. Penentuan <i>Duty Cycle</i> (D).....	28
3.2. Simulasi Pengujian <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM) Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i>	29
3.3. Simulasi Pengujian Tegangan dan Arus Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i>	30
3.4. Simulasi Pengujian Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i>	32
3.4.1. Pengujian Simulasi Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i> terhadap Perubahan Beban	32
3.4.2. Pengujian Simulasi Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i> terhadap Perubahan <i>Duty Cycle</i>	35
3.5. Penentuan Parameter Komponen Rangkaian.....	37
3.5.1. Penentuan Nilai Induktor (L)	37
3.5.2. Penentuan Nilai Kapasitor (C)	38
3.6. Penentuan Parameter Induktor	39
3.7. Implementasi Rangkaian <i>Interleaved Boost Converter</i>	40
3.8. <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM) Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i>	41
3.9. Perancangan Rangkaian <i>Optocoupler</i>	43

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

4.1. Pengujian Sinyal <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM)	45
4.1.1. <i>Boost Converter</i> Konvensional.....	45
4.1.2. <i>Interleaved Boost Converter</i>	46
4.2. Pengujian Arus dan Tegangan.....	48
4.2.1. <i>Boost Converter</i> Konvensional.....	48
4.2.2. <i>Interleaved Boost Converter</i>	49
4.3. Pengujian Terhadap Perubahan Beban	50
4.3.1. <i>Boost Converter</i> Konvensional.....	51

4.3.2. <i>Interleaved Boost Converter</i>	54
4.4. Pengujian Terhadap Perubahan <i>Duty Cycle</i>	57
4.4.1. <i>Boost Converter Konvensional</i>	58
4.4.2. <i>Interleaved Boost Converter</i>	59

BAB 5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan	61
5.2. Saran	62

DAFTAR PUSTAKA	63
-----------------------------	----

RIWAYAT HIDUP PENULIS	65
------------------------------------	----

LAMPIRAN	67
-----------------------	----



DAFTAR GAMBAR

GAMBAR		HALAMAN
Gambar 2.1	Rangkaian ekuivalen <i>photovoltaic</i>	7
Gambar 2.2	Rangkaian DC-DC <i>Boost Converter</i> Konvensional...	10
Gambar 2.3	Rangkaian DC-DC <i>Boost Converter</i> Konvensional saat <i>switch on</i>	10
Gambar 2.4	Rangkaian DC-DC <i>Boost Converter</i> Konvensional saat <i>switch off</i>	11
Gambar 2.5	Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i>	12
Gambar 2.6	Grafik arus induktor rangkaian: (a) DC-DC <i>Boost Converter</i> konvensional, (b) DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i>	12
Gambar 2.7	Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i> pada saat <i>switch</i> Q1 tertutup	13
Gambar 2.8	Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i> pada saat <i>switch</i> Q1 dan Q2 terbuka	15
Gambar 2.9	Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i> pada saat <i>switch</i> Q1 terbuka dan <i>switch</i> Q2 tertutup.....	16
Gambar 2.10	Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i> pada saat <i>switch</i> Q1 dan Q2 terbuka	18
Gambar 2.11	Skema rangkaian TLP 250	22
Gambar 2.12	Konfigurasi pin mikrokontroler ATMEGA 16.....	23
Gambar 3.1	Blok diagram desain rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i> secara keseluruhan	25
Gambar 3.2	Model Rangkaian DC-DC <i>Interleaved Boost Converter</i> yang dihubungkan dengan sistem <i>photovoltaic</i>	26
Gambar 3.3	(a) Bentuk fisik <i>photovoltaic</i> ; (b) <i>Nameplate rating photovoltaic</i>	26
Gambar 3.4	Skema <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM).....	29
Gambar 3.5	Sinyal <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM) keseluruhan	30
Gambar 3.6	Gelombang tegangan dan arus MOSFET Q1 & Q2 ..	31
Gambar 3.7	Gelombang tegangan dan arus dioda D1 & D2	31
Gambar 3.8	Gelombang tegangan dan arus induktor L1 & L2	31

Gambar 3.9	Grafik karakteristik arus terhadap tegangan <i>photovoltaic</i> model eS50236-PCM	33
Gambar 3.10	Grafik karakteristik daya terhadap tegangan <i>photovoltaic</i> model eS50236-PCM	33
Gambar 3.11	Grafik perubahan beban terhadap arus <i>input</i>	34
Gambar 3.12	Grafik perubahan beban terhadap arus <i>output</i>	34
Gambar 3.13	Grafik arus <i>output</i> terhadap arus <i>input</i>	35
Gambar 3.14	Grafik tegangan <i>output</i> terhadap <i>duty cycle</i>	36
Gambar 3.15	Kapasitor keluaran yang digunakan pada rangkaian <i>prototype</i>	39
Gambar 3.16	Induktor yang digunakan pada rangkaian <i>prototype</i> ..	40
Gambar 3.17	<i>Prototype</i> rangkaian utama <i>Interleaved Boost Converter</i>	40
Gambar 3.18	<i>Prototype</i> mikrokontroler ATMEGA 16	42
Gambar 3.19	Rangkaian TLP250	43
Gambar 3.20	<i>Prototype</i> rangkaian <i>optocoupler</i>	43
Gambar 4.1	Sinyal PWM <i>boost converter</i> saat <i>duty cycle</i> 50%.....	45
Gambar 4.2	Sinyal PWM <i>boost converter</i> saat <i>duty cycle</i> 60%.....	46
Gambar 4.3	Sinyal PWM <i>boost converter</i> saat <i>duty cycle</i> 70%.....	46
Gambar 4.4	Sinyal PWM IBC saat <i>duty cycle</i> 50 %	47
Gambar 4.5	Sinyal PWM IBC saat <i>duty cycle</i> 60 %	47
Gambar 4.6	Sinyal PWM IBC saat <i>duty cycle</i> 70 %	47
Gambar 4.7	Gelombang tegangan dan arus <i>charging boost converter</i> pada induktor 1 & 2	48
Gambar 4.8	Gelombang tegangan dan arus <i>input & output boost converter</i> konvensional.....	49
Gambar 4.9	Gelombang tegangan dan arus <i>charging Interleaved Boost Converter</i> pada induktor 1 & 2.....	50
Gambar 4.10	Gelombang tegangan dan arus <i>input & output Interleaved Boost Converter</i>	50
Gambar 4.11	Grafik perubahan beban terhadap arus <i>input boost converter</i> konvensional.....	52
Gambar 4.12	Grafik perubahan beban terhadap arus <i>output boost converter</i> konvensional.....	52
Gambar 4.13	Grafik arus <i>output</i> terhadap arus <i>input boost converter</i> konvensional.....	53

Gambar 4.14 Grafik efisiensi terhadap daya <i>output boost converter</i> konvensional	53
Gambar 4.15 Gelombang tegangan dan arus <i>input & output boost converter</i> pada beban penuh	54
Gambar 4.16 Grafik perubahan beban terhadap arus <i>input Interleaved Boost Converter</i>	55
Gambar 4.17 Grafik perubahan beban terhadap arus <i>output Interleaved Boost Converter</i>	55
Gambar 4.18 Grafik arus <i>output</i> terhadap arus <i>input</i> IBC	56
Gambar 4.19 Grafik daya <i>output</i> terhadap efisiensi IBC	56
Gambar 4.20 Gelombang tegangan dan arus <i>input & output Interleaved Boost Converter</i> pada beban penuh	57
Gambar 4.21 Grafik tegangan <i>output</i> terhadap <i>duty cycle boost converter</i> konvensional	58
Gambar 4.22 Grafik <i>duty cycle</i> terhadap <i>error</i> tegangan <i>boost converter</i> konvensional	59
Gambar 4.23 Grafik tegangan <i>output</i> terhadap <i>duty cycle</i> IBC	60
Gambar 4.24 Grafik <i>duty cycle</i> terhadap <i>error</i> tegangan IBC	60



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang berasal dari energi terbarukan mengundang perhatian yang besar dalam bidang penelitian. Penelitian terbaru pada konverter elektronika daya adalah penggunaan tegangan dengan sumber arus searah. Sumber ini mempunyai tegangan keluaran yang relatif kecil dan memerlukan penaik tegangan untuk menyuplai beban dengan tegangan yang diperlukan. Untuk membesarkan tegangan keluaran ke tegangan yang dibutuhkan dengan efisiensi yang cukup tinggi, digunakanlah DC-DC Converter.

DC-DC Converter adalah rangkaian elektronika daya yang mengubah hanya untuk tegangan DC ke tahap tegangan DC dengan keluaran yang berbeda. Konverter ini di klasifikasikan ke dalam 2 tipe, yaitu *general converter* dan *switch mode power supply (SMPS) converter*, contoh untuk *General Converter* seperti *Buck Converter*, *Boost Converter*, dan *Buck-Boost Converter*. Tipe tersebut merupakan *converter* yang biasa disebut *converter* yang tidak ada isolasi. Sedangkan contoh untuk *SMPS converter* seperti *flyback converter*, *forward converter* dan *bridge converter*. Converter ini biasa disebut konverter dengan isolasi.

Aplikasi untuk konverter yang non isolasi, seperti *buck converter* banyak digunakan untuk *laptop adapter*, *battery charger*, dan lainnya. Konverter ini dapat menurunkan tegangan. Untuk *boost converter* banyak digunakan untuk sumber energi terbarukan seperti *photovoltaic system* dan *fuel cells*. Konverter ini dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dari tegangan masukan yang rendah.

DC-DC *Boost Converter* merupakan komponen penting yang digunakan untuk sumber energi terbarukan seperti *photovoltaic system* dan *fuel cells*. Kebanyakan sumber energi terbarukan mempunyai tegangan keluaran yang kecil dan hal ini memerlukan penaik tegangan agar dapat memberikan tegangan keluaran yang cukup ataupun yang di

butuhkan. Energi terbarukan merupakan pilihan yang sangat baik di bandingkan dengan energi yang tidak terbarukan di karenakan sumber energi tersebut tak terbatas dan juga tidak menyebabkan polusi udara. Untuk membuat sumber energi yang terbarukan dapt efisien, dibutuhkan konverter yang cocok [1].

Boost converter merupakan konverter DC-DC yang menghasilkan tegangan keluaran yang tinggi dan tegangan masukan yang rendah. *Boost converter* memiliki rangkaian dan desain sistem yang sederhana. Sebagai penaik tegangan, DC-DC *boost converter* juga memiliki kelebihan dan kekurangan. Kekurangan pada topologi *boost converter* konvensional adalah *ripple* atau riak gelombang arus yang dihasilkan cukup besar. *Ripple* tersebut dapat mengurangi efisiensi dan performansi dari konverter, sehingga topologi ini dikembangkan lagi dengan topologi yang lainnya seperti teknik *interleaving* [2]. *Boost converter* sudah banyak digunakan, tetapi penerapan yang paling banyak pada penggunaan *photovoltaic*. Selain itu *boost converter* juga dapat diterapkan pada *Uninterruptable Power Supply* (UPS), *Fuel Cell*, *Battery*, dll.

Pada sistem DC *ideal*, bentuk gelombang tegangan maupun arus berupa garis lurus. Sistem ini tidak memiliki riak (*ripple*) gelombang. Sebaliknya, sistem DC non ideal terdiri dari komponen DC dan komponen AC sebagai riak. Riak gelombang merupakan komponen yang tidak diinginkan dan selalu diupayakan agar bernilai nol atau serendah mungkin [3].

Interleaved boost Converter adalah salah satu pilihan untuk aplikasi tersebut. Dengan menggunakan *Interleaved Boost Converter*, sumber energi terbarukan akan dapat menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dan juga di hasilkan *ripple* yang kecil pada arus masukan dan arus keluarannya [4]. Namun, *interleaved boost converter* ini mempunyai penambahan induktor dan saklar.

Rangkaian *Interleaved Boost Converter* merupakan gabungan dari rangkaian *boost converter* konvensional yang dihubungkan secara paralel. Pada rangkaian ini juga terdapat dua saklar aktif yang dihubungkan secara paralel. *Interleaved Boost Converter* ini memiliki beberapa kelebihan antara lain sebagai berikut.

1. Memiliki arus *input* dengan *ripple* yang lebih kecil.
2. Memiliki arus *output* dengan *ripple* yang lebih kecil.
3. Dapat digunakan untuk konversi dengan rasio yang tinggi.

Dengan adanya DC-DC Interleaved Boost Converter, diharapkan akan dihasilkan konverter dengan efisiensi dan performa yang baik.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Desain dan simulasi rangkaian DC to DC *Interleaved Boost Converter*.
2. Desain dan implementasi rangkaian DC to DC *Interleaved Boost Converter*.
3. Membandingkan dan menganalisis hasil simulasi rangkaian DC to DC *Interleaved Boost Converter*.
4. Membandingkan dan menganalisis hasil implementasi rangkaian DC to DC *Interleaved Boost Converter*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada pengerjaan Tugas Akhir ini akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Pemodelan dan simulasi menggunakan *software*.
2. Desain, simulasi dari rangkaian DC to DC *Interleaved Boost Converter* memiliki tegangan masukan 18 V dan menghasilkan tegangan 60 V. Sedangkan frekuensi switching yang digunakan adalah 20 kHz dengan daya keluaran sebesar 50 Watt. Sedangkan untuk implementasi menggunakan daya keluaran sebesar 36 Watt. Hal ini dikarenakan keterbatasan alat yang digunakan.
3. Sumber yang digunakan pada implementasi alat menggunakan DC *Power Supply*. Hal ini dikarenakan keterbatasan alat yang digunakan.
4. Pada simulasi dan implementasi rangkaian, sistem kontrolnya menggunakan sistem kontrol *open loop*.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mempelajari hal-hal yang berkaitan dengan sistem konverter DC, khususnya rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*.
2. Merancang dan mengimplementasikan rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*.
3. Membandingkan dan menganalisis hasil simulasi perancangan *Boost Converter* konvensional dan *Interleaved Boost Converter*.
4. Membandingkan dan menganalisis hasil implementasi perancangan *Boost Converter* konvensional dan *Interleaved Boost Converter*.

1.5 Metodologi

Metodologi penelitian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Dalam tahap ini akan dilakukan studi mengenai karakteristik, prinsip kerja, dan aplikasi dari *Interleaved Boost Converter*. Studi ini mencakup dari segala hal dan komponen yang ada pada rangkaian, seperti induktor, MOSFET, dioda, kapasitor, dan beban. Selain itu, komponen penunjang seperti mikrokontroller, dan *optocoupler* turut dipelajari dalam studi ini. Literatur yang digunakan dalam studi ini meliputi buku, jurnal ilmiah, *datasheet*, dan artikel dari *internet*.

2. Desain dan Simulasi

Setelah dilakukan studi literatur, akan dilakukan pemodelan rangkaian menggunakan *software* simulasi Powersim atau yang biasa dikenal dengan PSIM. Setelah dilakukan pemodelan pada *software* PSIM, akan dilakukan *sizing* atau perancangan komponen yang ada termasuk perhitungan besar komponen tersebut. Setelah itu akan dilakukan pengamatan terhadap sinyal keluaran yang dihasilkan dan dilakukan *troubleshooting* terhadap pemodelan tersebut apabila hasilnya kurang baik.

3. Implementasi

Berdasarkan pemodelan dari simulasi yang dilakukan menggunakan *software* PSIM, hal yang akan dilakukan selanjutnya adalah penerapan atau implementasi pemodelan tersebut pada sebuah alat atau *prototype*. Komponen yang akan digunakan pada simulasi dan implementasi akan sedikit berbeda karena ketersediaan komponen di pasar sangat terbatas.

4. Pengujian dan Pengambilan Data

Setelah penerapan pada sebuah *prototype* selesai, maka akan dilakukan pengambilan data terhadap respon yang diberikan oleh *prototype*. Apabila data yang dihasilkan *prototype* jauh berbeda dengan data yang dilakukan pada simulasi, maka akan dilakukan *troubleshooting*. Perbaikan terhadap *prototype* diperlukan agar menghasilkan data yang sesuai dengan teori dan simulasi.

5. Analisis Data

Dalam tahap ini akan dilakukan analisis terhadap data yang telah kita ambil. Data yang didapat akan dicocokkan dengan teori dan simulasi. Dari data-data yang telah kita analisis tersebut, dapat ditarik kesimpulan dari penelitian Tugas Akhir ini.

6. Penyusunan Laporan

Setelah analisis data dan penarikan kesimpulan selesai, maka dapat dilakukan penyusunan laporan Tugas Akhir yang bertujuan untuk pembuatan buku Tugas Akhir sebagai hasil akhir dari penelitian Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan buku Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

BAB 1 : Pendahuluan

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan dan relevansi dari penelitian yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini.

BAB 2 : Teori Penunjang

Bab ini berisi tentang dasar teori mengenai rangkaian DC to DC *Interleaved Boost Converter*, penentuan parameter-parameter seperti induktor dan kapasitor sebagai komponen filter, *Pulse Width Modulation* (PWM), dan *Optocoupler*.

BAB 3 : Perancangan dan Implementasi Rancangan

Bab ini berisi mengenai perancangan dan implementasi dari rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*. Selain itu, komponen pendukung pada rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* juga akan dibahas dalam bab ini. Hasil simulasi dan analisis rangkaian menggunakan *software* PSIM juga akan dibahas dalam bab ini.

BAB 4 : Pengujian Konverter dan Analisis Data

Bab ini berisi mengenai data hasil pengujian *prototype* rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*. Selain itu, bab ini membahas analisa dari data yang didapatkan pada saat pengujian *prototype* rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*.

BAB 5 : Penutup

Bab ini berisi mengenai kesimpulan yang didapat dari proses desain dan implementasi rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*. Bab ini juga berisi saran-saran kedepannya untuk perancangan DC-DC *Interleaved Boost Converter*, sehingga dapat dikembangkan lagi untuk mencapai hasil yang lebih maksimal kedepannya.

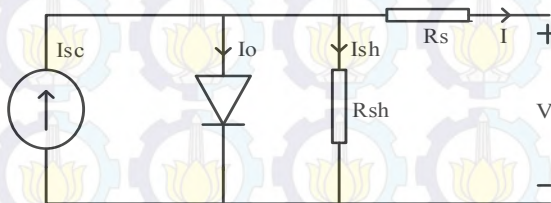
BAB 2

INTERLEAVED BOOST CONVERTER PADA SISTEM PHOTOVOLTAIC

2.1 Sel Surya (*Photovoltaic*)

Sel surya atau yang biasa dikenal dengan *photovoltaic*, merupakan sumber energi terbarukan. Sebagai energi terbarukan, sel surya menggunakan sumber matahari sebagai energi masukannya dan mengubah ke energi listrik sebagai energi keluarannya. Daya listrik yang dihasilkan sel surya merupakan sumber listrik DC. Sel surya merupakan sumber energi yang saat ini sedang dikembangkan. Sebab, sel surya merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan tidak menyebabkan polusi udara. Sel surya ini sangat cocok untuk diterapkan pada Negara-negara yang memiliki iklim tropis seperti Indonesia.

Rangkaian ekuivalen *photovoltaic* dimodelkan dengan sumber arus yang terpasang secara paralel dengan dioda. Pemodelan rangkaian ekuivalen *photovoltaic* dapat dijelaskan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 2.1 Rangkaian ekuivalen *photovoltaic*

Pada dasarnya mekanisme konversi energi cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas di dalam suatu atom. Konduktifitas elektron atau kemampuan transfer elektron dari suatu material terletak pada banyaknya elektron valensi dari suatu material.

Sel surya pada umumnya menggunakan material semikonduktor sebagai penghasil elektron bebas. Material semikonduktor adalah suatu padatan (*solid*) dan seperti logam, konduktifitas elektriknya juga ditentukan oleh elektron valensinya. Namun, berbeda dengan logam yang

konduktifitasnya menurun dengan kenaikan temperature, material semikonduktor konduktifitasnya akan meningkat secara signifikan.

Ketika foton dari suatu sumber cahaya menumbuk suatu elektron valensi dari atom semikonduktor, hal ini mengakibatkan suatu energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron tersebut terlepas dari struktur atomnya. Elektron yang terlepas tersebut menjadi bebas bergerak di dalam bidang kristal dan elektron tersebut menjadi bermuatan negatif dan berada pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor.

Sementara itu akibat hilangnya elektron, mengakibatkan terbentuknya suatu kekosongan pada struktur kristal yang disebut dengan “hole” dan bermuatan positif.

Daerah semikonduktor dengan elektron bebas dan bersifat negatif bertindak sebagai donor elektron. Daerah ini disebut *negative type (n-type)*. Sedangkan daerah semikonduktor dengan hole, bersifat positif dan bertindak sebagai penerima (*acceptor*) elektron. Daerah ini disebut dengan *positive type (p-type)*.

Ikatan dari kedua sisi positif dan negatif (*p-n junction*) menghasilkan energi listrik internal yang akan mendorong elektron bebas dan hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi sisi negatif, sedangkan hole bergerak menjauhi sisi positif. Ketika *p-n junction* ini dihubungkan dengan sebuah beban, maka akan tercipta sebuah arus listrik [5].

Persamaan dasar untuk menentukan besarnya arus *output* dari sebuah *photovoltaic* dapat ditentukan sebagai berikut.

$$I = I_{sc} - I_o \left(e^{q \left(\frac{V + IR_s}{nkt} \right)} - \left(\frac{V + IR_s}{R_{sh}} \right) \right) \quad (2.1)$$

Dimana:

I : Arus *output photovoltaic* (A)

I_{sc} : Arus yang terbangkit pada *photovoltaic* (A)

I_o : Arus saturasi dioda

q : Muatan elektron = 1.6×10^{-9} (Coulomb)

- k : Konstanta boltzman (j/K)
T : Suhu (K)
 R_s : Resistansi seri sel (Ohm)
 R_{sh} : Resistansi *shunt* (Ohm)
V : Tegangan *output photovoltaic* (V)

Photovoltaic sebagai energi terbarukan tentunya memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihan-kelebihan yang dimiliki *photovoltaic* adalah sebagai berikut.

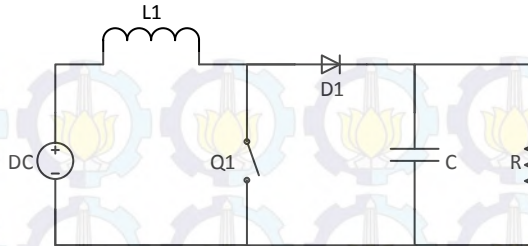
1. Ramah lingkungan.
2. Pemakaian daya dapat disesuaikan dengan kebutuhan.
3. Tidak membutuhkan waktu perencanaan, instalasi, dan pembuatan yang lama.
4. Murah dalam biaya operasionalnya.
5. Memiliki *life time* yang cukup lama dan perawatan yang mudah.

Selain itu, kekurangan yang dimiliki oleh *photovoltaic* adalah sebagai berikut.

1. Efisiensi dari *photovoltaic* masih rendah.
2. *Photovoltaic* dipengaruhi kondisi alam seperti intensitas matahari, cuaca, dll.
3. Harga *photovoltaic* yang masih tergolong mahal.

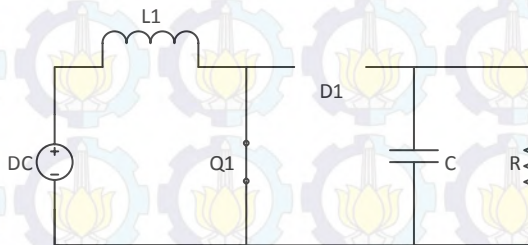
2.2 DC-DC Boost Converter

Boost Converter dapat mengubah tegangan masukan yang rendah ke tegangan keluaran yang tinggi. konverter ini bekerja secara periodik saat *switch* terbuka dan tertutup. Rangkaian dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Untuk konverter ini, parameter yang dibutuhkan untuk dapat memperoleh rangkaiannya adalah *switch* daya, dioda, induktor, kapasitor, dan *resistor*. *Switch* yang dipakai harus mempunyai respon yang cepat saat saklar *on* dan *off*. Saklar yang dapat digunakan adalah saklar semikonduktor seperti MOSFET dan IGBT.



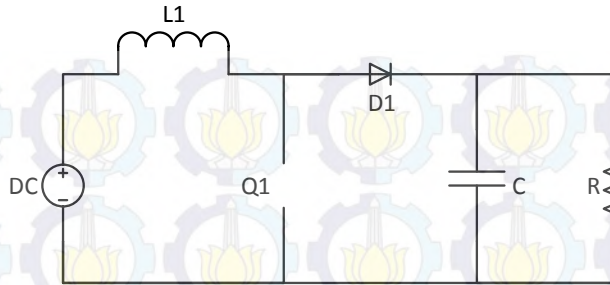
Gambar 2.2 Rangkaian DC-DC *Boost Converter Konvensional*

Dari rangkaian di atas, dapat dijelaskan bahwa *boost converter* bekerja saat keadaan saklar *on* dan *off*. Saat saklar *on* dioda menjadi *reverse bias* dan arus induktor bernilai sama dengan arus *input*. Tegangan induktor akan menyamai tegangan *input*. Saat saklar *on*, induktor akan menyimpan energi. Waktu saat induktor menyimpan energi tersebut adalah saat *switch on* (DT). Gambar di bawah ini menjelaskan rangkaian *boost converter* saat saklar *on* (tertutup).



Gambar 2.3 Rangkaian DC-DC *Boost Converter Konvensional* saat *switch on*

Pada saat *switch off* (1-D) T, energi yang di simpan di induktor dan tegangan input akan di salurkan ke beban. Jadi tegangan keluaran yang di dapat adalah besar tegangan *input* di tambah dengan energi yang di simpan di dalam induktor saat *switch on* (DT). Gambar di bawah menunjukan saat saklar *off* (terbuka).



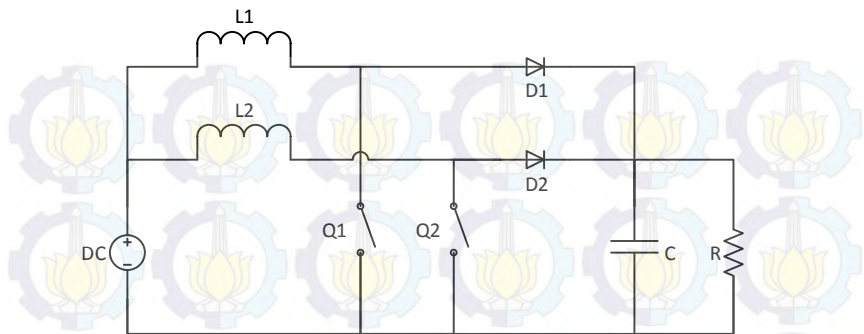
Gambar 2.4 Rangkaian DC-DC *Boost Converter* Konvensional saat *switch off*

2.3 DC-DC *Interleaved Boost Converter*

Interleaved boost converter merupakan salah satu perkembangan dari topologi *boost converter* konvensional. *Interleaved boost converter* terdiri dari gabungan beberapa *boost converter* konvensional yang terhubung dalam satu rangkaian. Karena proses *interleaving* tersebut, *interleaved boost converter* menghasilkan *ripple* arus yang lebih kecil pada sisi *input* dan *ripple* tegangan yang lebih kecil pada sisi *output* [3].

Interleaved Boost Converter merupakan bentuk modifikasi dari sebuah DC-DC *boost converter* konvensional yang berguna untuk menambah performa konverter seperti efisiensi dan ukuran. Namun kekurangannya adalah seperti penambahan induktor, *power switching device*, dan *output rectifier*. Metode *interleaved* biasa disebut juga teknik *multithrashing* dimana sangat berguna untuk mengurangi ukuran dari komponen filter. Pada rangkaian *interleaved* terdapat lebih dari satu *power switch*. Perbedaan fasa untuk dua *switch* adalah 180° [6].

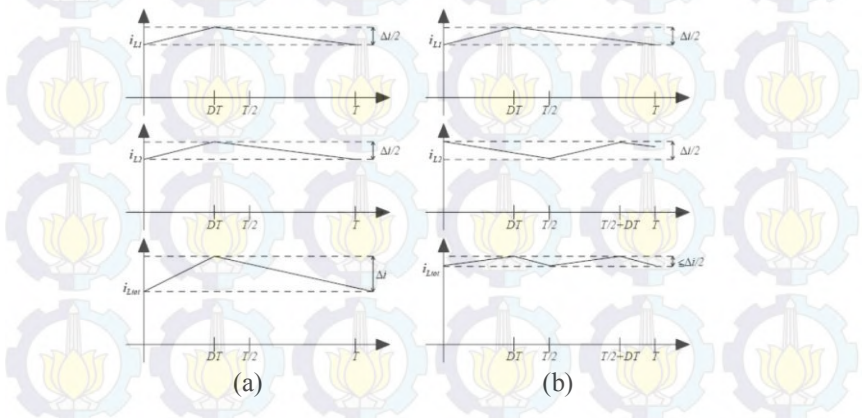
Metode *interleaving* ini berguna menaikkan frekuensi pulsa efektif yang di berikan oleh beberapa sumber yang lebih kecil dan mengoperasikannya dengan pergeseran fasa yang relatif (180°). Pada bidang elektronika daya, aplikasi *interleaving* dapat ditemukan khususnya pada aplikasi dengan memerlukan daya yang tinggi.



Gambar 2.5 Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*

2.4 Konsep Dasar *Interleaving*

Teknik *interleaving* adalah suatu ilmu yang mempelajari cara interkoneksi (penyambungan) dari beberapa buah rangkaian *switching* yang dapat meningkatkan frekuensi pulsa efektif dengan mensinkronisasikan beberapa sumber yang lebih kecil dan mengoperasikannya dengan *phase shift* (pergeseran fasa) relatif. Teknik *interleaved* bisa mengurangi *ripple* dan kebutuhan *energy storage*, dan meningkatkan rasio konversi daya tanpa mengorbankan efisiensinya.



Gambar 2.6 Grafik arus induktor rangkaian: (a) DC-DC *Boost Converter* konvensional, (b) DC-DC *Interleaved Boost Converter*

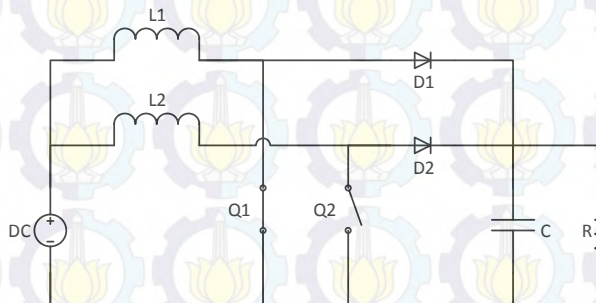
Manfaat dari *interleaving* bisa diketahui dengan membandingkan performa *interleaved* dan *non-interleaved* dari suatu sistem konverter. *Interleaved Boost converter* yang akan digunakan adalah sebanyak dua buah *boost converter* yang diparalel. Pada pengoperasian yang sinkron dan bersamaan (dimana nyala dan mati nya kedua switch tersebut adalah identik atau sama) maka total arus induktor mempunyai *amplitude peak-to-peak* sama dengan dua kali arus induktor tunggal tersebut (jumlah dari dua arus yang sama). Pada operasi *interleaved* maka *switch* yang ke kedua di *delay* sebesar setengah *cycle* dari periode *switching*. Apabila *amplitude peak-to-peak* dari arus induktor itu sendiri tetap tidak berubah maka nilai *amplitude peak-to-peak* dari resultan *input* gelombang *ripple* akan lebih kecil dari yang terjadi pada *non interleaved* [7].

2.5 Analisis Prinsip Kerja Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*

Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* dapat dianalisis pada saat *switch* terbuka dan *switch* tertutup. Pada rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*, analisis dilakukan pada keadaan *steady state*. Terdapat empat kondisi dalam satu periode dengan duty cycle $D = 50\%$.

2.5.1 Mode Operasi 1

Kondisi 1 dimulai pada saat *switch* Q1 tertutup dan *switch* Q2 terbuka. Skema rangkaian pada kondisi 1 digambarkan oleh gambar berikut ini.



Gambar 2.7 Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* pada saat *switch* Q1 tertutup

Pada kondisi ini, dioda D1 mengalami *reversed biased* saat dioda D2 mengalami *forward biased*. Oleh karena itu, induktor L1 mengalami *charge*, sedangkan induktor L2 mengalami *discharge*. Pada saat *switch* Q1 tertutup, induktor akan dihubungkan-singkatkan dengan tegangan sumber. Karena semua arus mengalir ke negatif melalui saklar, maka arus yang mengalir ke beban R dapat diabaikan. Tegangan keluaran V_o akan bernilai nol selama proses pengisian berlangsung. Persamaan tegangan rangkaian dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$\begin{aligned} V_i &= V_{L_1}(t_{charge}) \\ V_i &= L_1 \frac{\Delta i_{L_1}(t_{charge})}{\Delta t_{on}} \\ \Delta i_{L_1}(t_{charge}) &= \frac{(V_i)(\Delta t_{on})}{L_1} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Karena $\Delta t_{on} = DT$, maka persamaannya menjadi sebagai berikut.

$$\Delta i_{L_1}(t_{charge}) = \frac{(V_i)}{L_1}(DT) \quad (2.3)$$

Pada saat saklar Q2 terbuka, induktor 2 mengalami *discharge*. Tegangan sumber akan terangkai seri terhadap induktor dan beban. Induktor yang semula dalam *mode* pengisian arus akan berubah menjadi *mode* pengosongan arus. Pada kondisi ini, induktor berfungsi sebagai sumber arus atau sumber tegangan, sedangkan *resistor* berfungsi sebagai beban. Persamaan tegangan rangkaian dapat dituliskan oleh persamaan berikut.

$$\begin{aligned} V_i &= V_{L_2} + V_o \\ V_i &= L_2 \frac{\Delta i_{L_2}(t_{discharge})}{\Delta t_{off}} + V_o \\ L_2 \frac{\Delta i_{L_2}(t_{discharge})}{\Delta t_{off}} &= V_i - V_o \end{aligned}$$

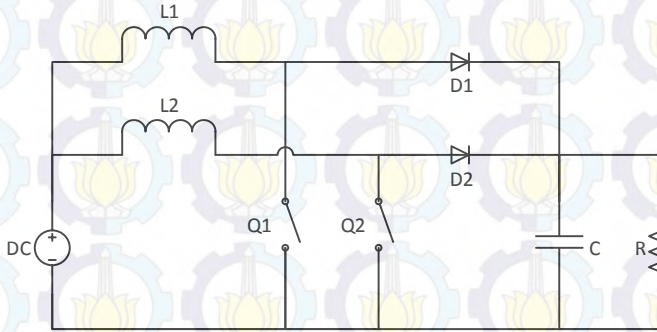
$$\Delta i_{L_2}(t_{discharge}) = \frac{(V_i - V_o)(\Delta t_{off})}{L_2} \quad (2.4)$$

Karena $\Delta t_{off} = (1 - D)T$, maka persamaannya menjadi sebagai berikut.

$$\Delta i_{L_2}(t_{discharge}) = \frac{(V_i - V_o)}{L_2} (1 - D)T \quad (2.5)$$

2.5.2 Mode Operasi 2

Pada kondisi 2, kedua saklar Q1 dan Q2 dalam keadaan terbuka. Skema rangkaian pada kondisi 2 akan digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.8 Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* pada saat *switch* Q1 dan Q2 terbuka

Pada kondisi ini, kedua dioda mengalami *forward biases*. Oleh karena itu, kedua induktor L1 dan L2 mengalami *discharge* dan menyuplai energi ke beban yang akan menyebabkan berkurangnya arus induktor secara linear. Tegangan sumber akan terangkai seri oleh kedua induktor dan beban. Sehingga persamaan matematisnya dapat dituliskan oleh persamaan sebagai berikut.

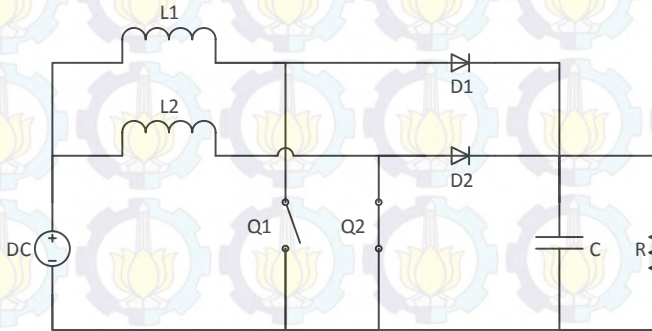
$$V_{L_1}(t_{discharge}) = V_{L_2}(t_{discharge}) = V_i - V_o$$

$$L_{1,2} \frac{\Delta i_{L_{1,2}}(t_{discharge})}{\Delta t_{off}} = V_i - V_o$$

$$\frac{\Delta i_{L_{1,2}}(t_{discharge})}{\Delta t_{off}} = \frac{V_i - V_o}{L_{1,2}} \quad (2.6)$$

2.5.3 Mode Operasi 3

Pada kondisi 3, saklar Q1 terbuka sedangkan saklar Q2 tertutup. Skema rangkaian *mode* operasi 3 dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.9 Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* pada saat *switch* Q1 terbuka dan *switch* Q2 tertutup

Pada kondisi ini, dioda D1 mengalami *forward biased* pada saat dioda D2 mengalami *reversed biased*. Hal ini menyebabkan induktor L2 mengalami *charge*, sedangkan induktor L1 mengalami *discharge*. Pada saat *switch* Q2 tertutup, induktor akan dihubungkan-singkatkan dengan tegangan sumber. Karena semua arus mengalir ke negatif melalui saklar, maka arus yang mengalir ke beban R dapat diabaikan. Tegangan keluaran V_o akan bernilai nol selama proses pengisian berlangsung. Persamaan tegangan rangkaian dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$V_i = V_{L_2}(t_{charge})$$

$$V_i = L_2 \frac{\Delta i_{L_2}(t_{charge})}{\Delta t_{on}}$$

$$\Delta i_{L2}(t_{charge}) = \frac{(V_i)(\Delta t_{on})}{L_2} \quad (2.7)$$

Karena $\Delta t_{on} = DT$, maka persamaannya menjadi sebagai berikut.

$$\Delta i_{L2}(t_{charge}) = \frac{(V_i)}{L_2} (DT) \quad (2.8)$$

Pada saat saklar Q1 terbuka, induktor L1 mengalami *discharge*. Tegangan sumber akan terangkai seri terhadap induktor dan beban. Induktor yang semula dalam *mode* pengisian arus akan berubah menjadi *mode* pengosongan arus. Pada kondisi ini, induktor berfungsi sebagai sumber arus atau sumber tegangan, sedangkan *resistor* berfungsi sebagai beban. Persamaan tegangan rangkaian dapat dituliskan oleh persamaan berikut.

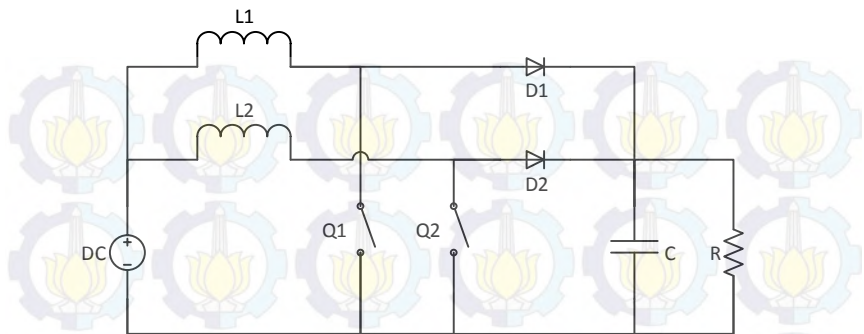
$$\begin{aligned} V_i &= V_{L1} + V_o \\ V_i &= L_1 \frac{\Delta i_{L1}(t_{discharge})}{\Delta t_{off}} + V_o \\ L_1 \frac{\Delta i_{L1}(t_{discharge})}{\Delta t_{off}} &= V_i - V_o \\ \Delta i_{L1}(t_{discharge}) &= \frac{(V_i - V_o)(\Delta t_{off})}{L_1} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Karena $\Delta t_{off} = (1 - D)T$, maka persamaannya menjadi sebagai berikut.

$$\Delta i_{L1}(t_{discharge}) = \frac{(V_i - V_o)}{L_1} (1 - D)T \quad (2.10)$$

2.5.4 Mode Operasi 4

Kondisi 4 sama halnya dengan kondisi 2. Pada kondisi 4, kedua saklar Q1 dan Q2 dalam keadaan terbuka. Skema rangkaian pada kondisi 4 akan digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.10 Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* pada saat switch Q1 dan Q2 terbuka

Kondisi 4 sama halnya seperti kondisi 2 yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada kondisi ini, kedua dioda mengalami *forward biases*. Oleh karena itu, kedua induktor L1 dan L2 mengalami *discharge* dan menyuplai energi ke beban yang akan menyebabkan berkurangnya arus induktor secara linear. Tegangan sumber akan terangkai seri oleh kedua induktor dan beban. Sehingga persamaan matematisnya dapat dituliskan oleh persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{L_1}(t_{discharge}) &= V_{L_2}(t_{discharge}) = V_i - V_o \\
 L_{1,2} \frac{\Delta i_{L_{1,2}}(t_{discharge})}{\Delta t_{off}} &= V_i - V_o \\
 \frac{\Delta i_{L_{1,2}}(t_{discharge})}{\Delta t_{off}} &= \frac{V_i - V_o}{L_{1,2}} \quad (2.11)
 \end{aligned}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.2) dan (2.4), maka akan dihasilkan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_i - \frac{V_i \times t_{on}}{t_{off}} &= V_o \\
 V_i \times (1 - \frac{t_{on}}{t_{off}}) &= V_o \quad (2.12)
 \end{aligned}$$

Dari persamaan yang sebelumnya, dapat diketahui bahwa $T = t_{on} + t_{off}$ dan $t_{off} = (1 - D)T$, maka persamaan (2.12) dapat diubah menjadi persamaan sebagai berikut.

$$V_o = V_i \frac{1}{(1 - D)} \quad (2.13)$$

Oleh karena itu, untuk mencari nilai *duty cycle* (D), dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} (1 - D) \times V_o &= V_i \\ 1 - D &= \frac{V_i}{V_o} \\ D &= 1 - \frac{V_i}{V_o} \end{aligned} \quad (2.14)$$

2.6 Penentuan Parameter Induktor dan Kapasitor

Berdasarkan analisis prinsip kerja yang telah dijelaskan diatas, nilai induktor dan kapasitor dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

2.6.1 Induktor

Kedua buah induktor yang ada pada rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* memiliki nilai induktansi yang sama. Pada salah satu kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya, nilai induktansi induktor dapat dicari. Nilai induktansi tersebut didapatkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta i_{L1}(t_{charge}) &= \frac{(V_i)}{L_1} (DT) \\ L_1 &= \frac{(V_i)}{\Delta i_{L1}(t_{charge})} (DT) \end{aligned}$$

$$L_1 = \frac{V_i \times D}{\Delta i_{L1} \times f} \quad (2.15)$$

Dari persamaan tersebut, diketahui bahwa untuk mencari nilai induktansi sebuah induktor, terdapat unsur Δi_{L1} yang harus dicari terlebih dahulu. Unsur Δi_{L1} merupakan *ripple* arus yang mengalir melalui induktor. Nilai Δi_{L1} dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta i_L = \text{prosentase nilai ripple (\%)} \times I_L \quad (2.16)$$

Nilai *ripple* arus yang melalui induktor merupakan perkalian antara prosentase nilai *ripple* dan I_L yang merupakan arus yang mengalir melalui induktor. Dimana prosentase nilai *ripple* dapat ditentukan sendiri. Biasanya besar nilai prosentase *ripple* arus dalam rentang 20% - 40%. Sedangkan I_L dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$I_L = \frac{V_o}{V_i} \times \frac{I_o}{2} \quad (2.17)$$

2.6.2 Kapasitor

Dari analisis yang dilakukan pada rangkaian DC-DC- *Interleaved Boost Converter*, dapat dilihat bahwa kapasitor keluaran terletak paralel dengan beban. Oleh karena itu, tegangan yang ada pada kapasitor sama dengan tegangan keluaran konverter. Nilai kapasitansi dari kapasitor keluaran dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_C = V_o$$

$$V_C = \frac{1}{C} \int i \, dt$$

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{1}{C} \times i$$

$$\frac{\Delta V_o}{\Delta t_{on}} = \frac{i_o}{C}$$

$$\frac{\Delta V_o}{DT} = \frac{i_o}{C}$$

$$\frac{\Delta V_o}{D} = \frac{i_o}{C} \times \frac{1}{f}$$

$$C = \frac{i_o \times D}{\Delta V_o \times f} \quad (2.18)$$

Sebelum mencari nilai kapasitansi dari kapasitor keluaran, dibutuhkan nilai ΔV_o yang harus dicari terlebih dahulu. Untuk mencari nilai ΔV_o , digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta V_o = \text{ripple tegangan keluaran (\%)} \times V_o \quad (2.19)$$

2.7 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan suatu *mode* pengaturan tegangan dengan cara mengubah atau mengatur periode *on* (t_{on}) pada tegangan dengan periode frekuensi yang tetap. Siklus kerja ini didapatkan dari perbandingan antara lamanya pulsa pada nilai maksimum (t_{on}) dengan lamanya pulsa pada nilai minimum (t_{off}). hal ini yang biasa dikenal dengan istilah *duty cycle* (D).

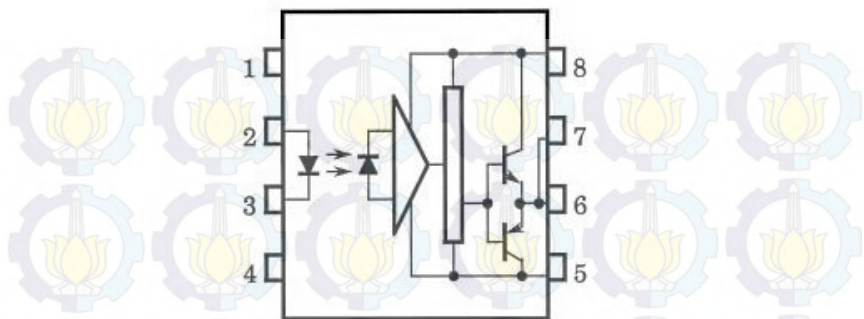
Gelombang PWM berbentuk kotak dan dapat dihasilkan dari tiga komponen utama, yaitu tegangan DC sebagai referensi, sinyal segitiga sebagai sinyal pembawa, dan komparator sebagai pembanding antara dua gelombang tersebut (V_{ref} dan sinyal segitiga). *Duty cycle* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$D = \frac{t_{on}}{T} \times 100\% \quad (2.20)$$

$$\text{dengan, } T = t_{on} + t_{off} \quad (2.21)$$

2.8 Rangkaian Optocoupler

Rangkaian *driver* merupakan suatu rangkaian yang berfungsi memindahkan sinyal gelombang dari rangkaian kontrol untuk menjalankan rangkaian daya. Rangkaian *driver* yang digunakan, diimplementasikan dengan IC TLP 250 yang merupakan IC *optocoupler* seperti yang ditunjukkan pada gambar sebagai berikut.



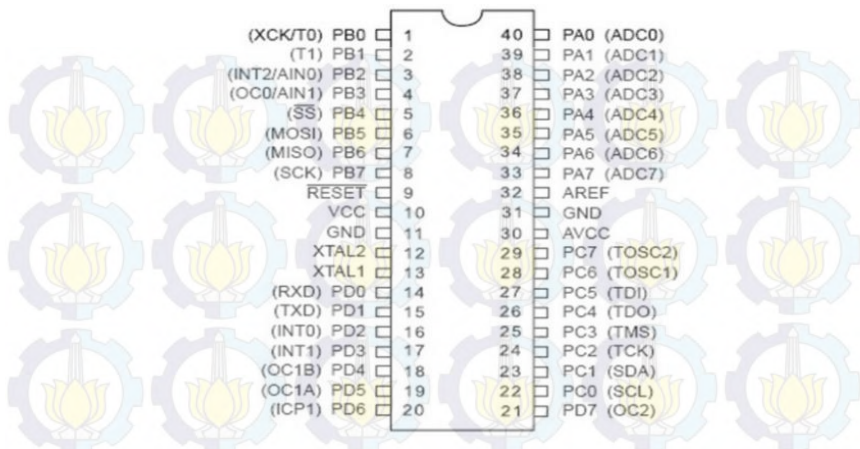
Gambar 2.11 Skema rangkaian TLP 250

2.9 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer lengkap dalam satu serpih (*chip*). Mikrokontroler lebih dari sekedar sebuah mikroprosesor karena sudah terdapat atau berisikan ROM (*Read-Only Memory*), RAM (*Read-Write Memory*), beberapa *port* masukan maupun keluaran, dan beberapa *peripheral* seperti pencacah/pewaktu, ADC (*Analog to Digital Converter*), DAC (*Digital to Analog Converter*) dan serial komunikasi.

Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan saat ini yaitu mikrokontroler AVR. AVR adalah mikrokontroler RISC (*Reduce Instruction Set Computer*) 8 bit berdasarkan arsitektur Harvard. Secara umum mikrokontroler AVR dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu keluarga AT90Sxx, ATmega dan ATtiny. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fiturnya.

Seperti mikroprosesor pada umumnya, secara internal mikrokontroler ATmega16 terdiri atas unit-unit fungsionalnya *Arithmetic and Logical Unit* (ALU), himpunan *register* kerja, *register* dan dekoder instruksi, dan pewaktu beserta komponen kendali lainnya. Berbeda dengan mikroprosesor, mikrokontroler menyediakan memori dalam serpih yang sama dengan prosesornya (*in chip*) [8].



Gambar 2.12 Konfigurasi *pin* mikrokontroler ATMEGA 16

- **VCC (Power Supply)**
Merupakan *supply* tegangan *digital*.
- **GND(Ground)**
Merupakan *terminal ground*.
- **Port A (PA7...PA0)**
Port A berfungsi sebagai *input analog* pada konverter A/D. *Port A* juga sebagai suatu bandar I/O 8-bit dua arah, jika A/D konverter tidak digunakan.
- **Port B (PB7...PB0)**
Port B adalah suatu *port* I/O 8-bit dua arah dengan *resistor internal pull-up* (yang dipilih untuk beberapa bit). *Port B output buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber.
- **Port C (PC7...PC0)**
Port C adalah suatu *port* I/O 8-bit dua arah dengan *resistor internal pull-up* (yang dipilih untuk beberapa bit). *Port C output buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber.

- *Port D (PD7...PD0)*

Port D adalah suatu *port* I/O 8-bit dua arah dengan *resistor internal pull-up* (yang dipilih untuk beberapa bit). *Port D output buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber.

- *RESET*

Merupakan *reset input*.

- *XTAL1*

Merupakan *input oscillator*.

- *XTAL2*

Merupakan *output oscillator*.

- *AVCC*

Merupakan *pena penyedia tegangan* untuk *bandar A* dan *Konverter A/D*.

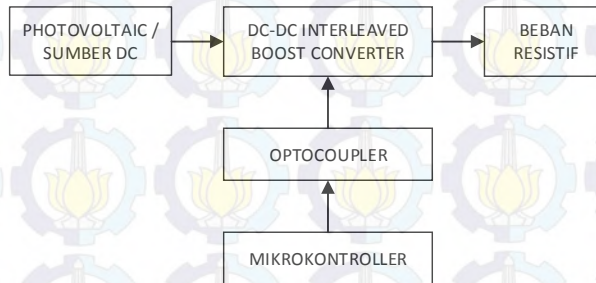
- *AREF*

Merupakan *pena referensi analog* untuk *konverter A/D*.

BAB 3

DESAIN DAN SIMULASI RANGKAIAN DC-DC *INTERLEAVED BOOST CONVERTER*

Pada bab ini akan dibahas mengenai desain dan simulasi rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*, komponen yang akan digunakan pada implementasi, serta penentuan parameter-parameter komponen yang akan digunakan. Blok diagram keseluruhan rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*, akan digambarkan oleh bagan berikut.



Gambar 3.1 Blok diagram desain rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* secara keseluruhan

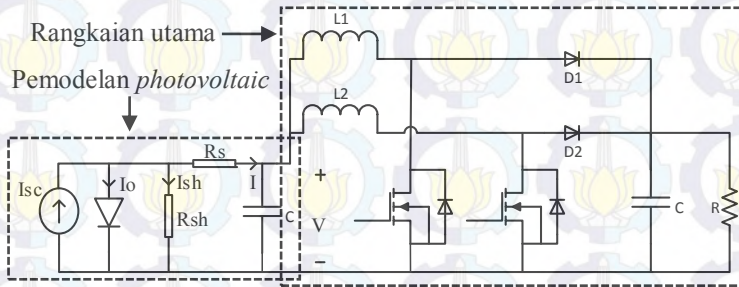
Pada Tugas Akhir ini, akan digunakan DC *Power Supply* sebagai pengganti *photovoltaic* dikarenakan keterbatasan alat yang digunakan.

3.1 Desain Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*

3.1.1 Model Simulasi Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*

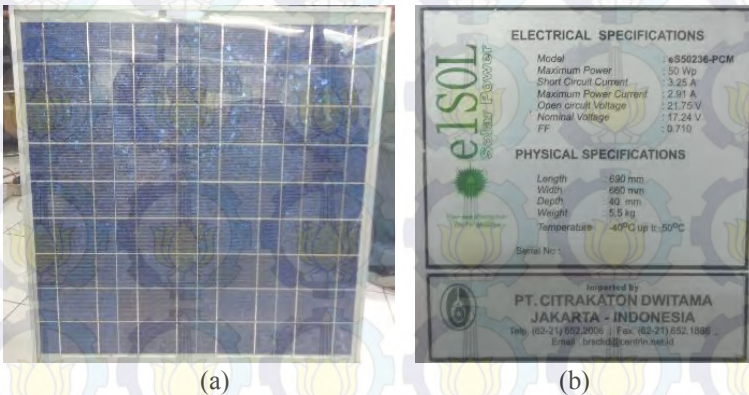
Desain rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* pada Tugas Akhir ini akan diimplementasikan untuk menaikkan tegangan 18 V ke tegangan 60 V. Daya keluaran yang digunakan pada saat simulasi sebesar 50 Watt dengan frekuensi *switching* sebesar 20 kHz. Namun, pada implementasinya, daya keluaran yang digunakan adalah sebesar 36 Watt. Hal ini terjadi karena keterbatasan alat yang digunakan pada implementasi

Pemodelan rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* yang terhubung dengan sistem *photovoltaic*, ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.2 Model Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* yang dihubungkan dengan sistem *photovoltaic*

Pada Tugas Akhir ini, simulasi rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* menggunakan modul *photovoltaic model* eS50236-PCM dengan daya maksimum sebesar 50Wp. Dalam implementasinya sumber yang digunakan adalah sumber DC, hal ini dikarenakan keterbatasan alat yang digunakan pada implementasi. Bentuk dan spesifikasi *photovoltaic* yang akan digunakan pada simulasi rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* adalah sebagai berikut.



Gambar 3.3 (a) Bentuk fisik *photovoltaic*; (b) Nameplate rating *photovoltaic*

Sesuai gambar diatas, spesifikasi dari *photovoltaic* dapat ditentukan sebagai berikut.

Model	: eS50236-PCM
Maximum Power	: 50 Wp
Short Circuit Current	: 3.25 A
Maximum Power Current	: 2.91 A
Open Circuit Voltage	: 21.75 V
Nominal Voltage	: 17.24 V
FF	: 0.710

Sesuai dengan rumus yang telah dijelaskan pada bab 2, sebelum kita dapat menentukan besarnya nilai induktor dan kapasitor maka kita harus menentukan parameter-parameter lain yang digunakan pada rangkaian simulasi DC-DC *Interleaved Boost Converter* adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 Parameter rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*

Parameter	Nilai	
	Simulasi	Implementasi
Tegangan <i>Input</i> (V_{in})	18	
Tegangan <i>Output</i> (V_{out})	60	
<i>Duty Cycle</i> (D)	70%	
Beban Resistansi (R)	72 Ω	100 Ω
Frekuensi <i>Switching</i> (f_s)	20 kHz	
<i>Ripple</i> Arus Induktor	25%	
<i>Ripple</i> Kapasitor Keluaran	1%	

Setelah kita menentukan parameter-parameter diatas, maka kita dapat menentukan besarnya nilai induktor dan kapasitor yang akan digunakan pada rangkaian simulasi sebagai berikut.

- Induktor (L)

$$L = \frac{V_{in} \times D}{\Delta i_L \times f} \quad (3.1)$$

$$L = \frac{18 \times 0.7}{0.35 \times 20000}$$

$$L = 1.80 \text{ mH}$$

- Kapasitor (C)

$$C = \frac{I_o \times D}{f \times \Delta V_o} \quad (3.2)$$

$$C = \frac{0.83 \times 0.7}{20000 \times 0.6}$$

$$C = 48.42 \text{ } \mu\text{F}$$

Pada perhitungan diatas, nilai induktor 1 dan induktor 2 yang digunakan pada rangkaian simulasi DC-DC *Interleaved Boost Converter* sebesar 1.80 mH dan kapasitor keluaran yang digunakan adalah sebesar 48.42 μF .

Hasil perhitungan nilai induktor dan nilai kapasitor pada tahap simulasi berbeda dengan perhitungan pada tahap implementasi yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada tahap simulai beban resistif yang digunakan adalah sebesar 50 Watt. Namun pada tahap implementasi, beban resistif yang digunakan adalah sebesar 30 Watt. Hal ini terjadi karena adanya keterbatasan alat-alat yang digunakan.

3.1.2 Penentuan *Duty Cycle* (D)

Penentuan nilai *duty cycle* (D) pada rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* akan mempengaruhi besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan. Berdasarkan persamaan yang telah dijelaskan pada bab 2, besarnya *duty cycle* (D) dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$D = 1 - \frac{V_i}{V_o} \quad (3.3)$$

Sesuai dengan persamaan (3.3), maka rasio perubahan *duty cycle* terhadap tegangan keluaran dengan tegangan masukan sebesar 18V, akan dijelaskan pada tabel sebagai berikut.

Tabel 3.2 Rasio perubahan *duty cycle* (D) terhadap tegangan keluaran.

D (%)	Vin (V)	Vout (V)
50	18	36
55	18	40
60	18	45
65	18	51.43
70	18	60

Dalam tugas akhir ini, tegangan *input* yang diberikan adalah sebesar 18V. Untuk menghasilkan tegangan *output* sebesar 60V, maka nilai *duty cycle* (D) yang akan didapatkan adalah sebagai berikut.

$$D = 1 - \frac{V_i}{V_o} \quad (3.4)$$

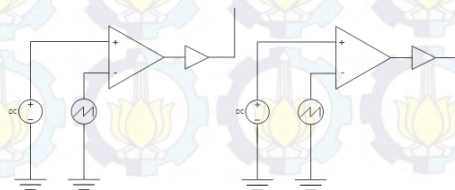
$$D = 1 - \frac{18}{60}$$

$$D = 0.7$$

Pada tabel 3.2 terlihat bahwa semakin besar *duty cycle* (D), maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin besar.

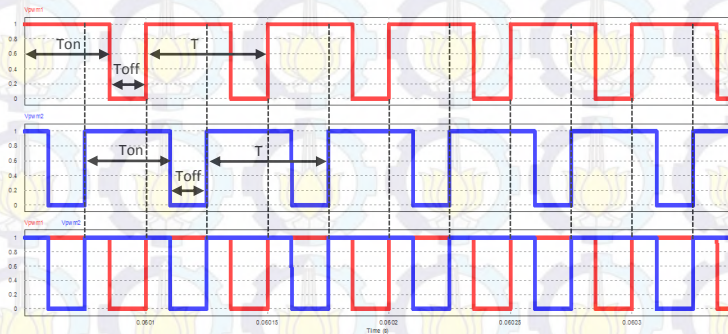
3.2 Simulasi Pengujian *Pulse Width Modulation* (PWM) Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*

Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* menggunakan dua buah pembangkit sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang memiliki perbedaan fasa 180°. Rangkaian simulasi pembangkit sinyal PWM ditunjukkan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 3.4 Skema *Pulse Width Modulation* (PWM)

Hasil simulasi dari pembangkit sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) akan ditunjukkan pada gambar dibawah ini. Gambar 3.5 Menunjukkan hasil keluaran pembangkit sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) 1, 2, serta gabungan keseluruhan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang digunakan pada rangkaian *DC-DC Interleaved Boost Converter* dengan *duty cycle* 70% sebagai berikut.



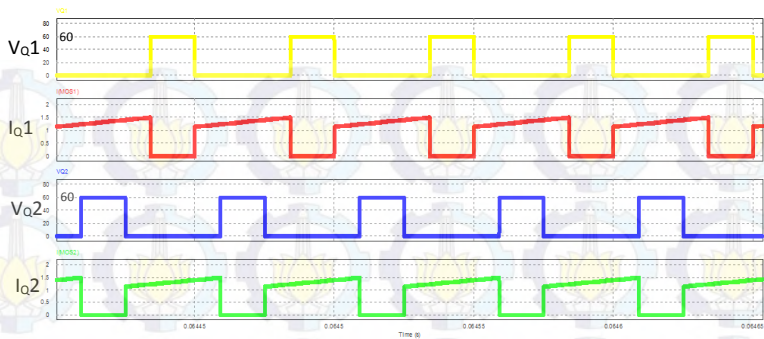
Gambar 3.5 Sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) keseluruhan

Pada gambar diatas, sinyal PWM 1 digambarkan oleh sinyal berwarna merah dan sinyal PWM 2 digambarkan oleh sinyal berwarna biru. Dari gambar diatas, terlihat bahwa pergeseran fasa sinyal PWM 2 sebesar 180° .

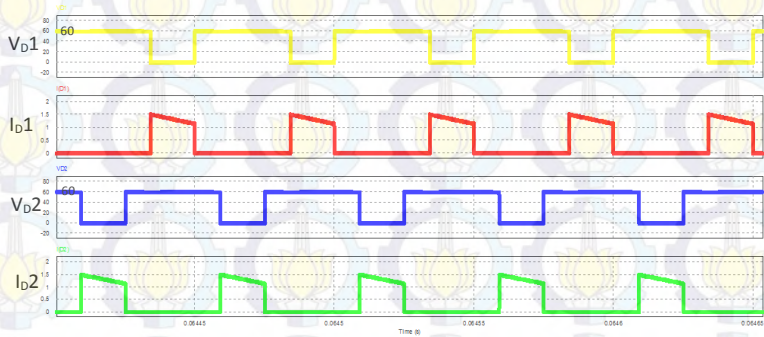
3.3 Simulasi Pengujian Tegangan dan Arus Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*

Pengujian desain rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* pada simulasi dilakukan untuk menguji kesesuaian teori perhitungan dan sinyal yang dihasilkan. Selain itu, pengujian ini juga digunakan sebagai dasar landasan teori dan juga tolak ukur dalam implementasi. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan photovoltaic sebagai sumbernya. Parameter *photovoltaic* yang digunakan adalah sebagai berikut.

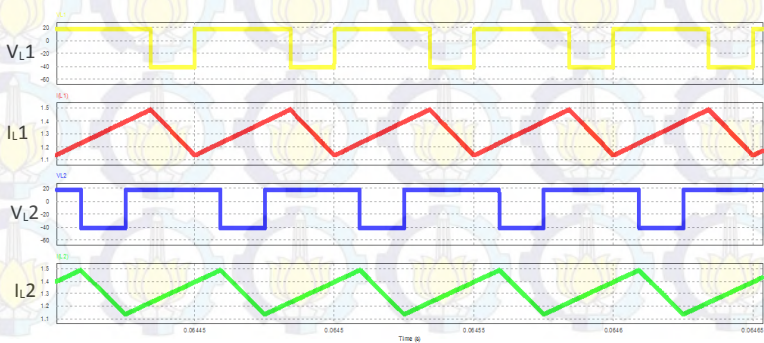
Hasil pengujian ini berupa gambar gelombang arus dan tegangan yang ada pada komponen-komponen rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* yang meliputi: MOSFET, dioda, dan induktor. Hasil pengujian ini dapat digambarkan pada grafik sebagai berikut.



Gambar 3.6 Gelombang tegangan dan arus MOSFET 1 & MOSFET 2



Gambar 3.7 Gelombang tegangan dan arus dioda D1 & D2



Gambar 3.8 Gelombang tegangan dan arus induktor L1 & L2

3.4 Simulasi Pengujian Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*

Pengujian simulasi rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* dilakukan dengan 2 metode pengujian. Pengujian yang pertama dilakukan terhadap perubahan beban. Pengujian yang kedua dilakukan terhadap perubahan *duty cycle*.

3.4.1 Pengujian Simulasi Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* terhadap Perubahan Beban

Pengujian rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* dilakukan untuk mengetahui besarnya efisiensi yang dapat dihasilkan konverter. Pengujian ini dilakukan masing-masing pada beban 100%, 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40% dan 30%. Pengujian yang dilakukan menggunakan modul *photovoltaic* sehingga *duty cycle* harus dijaga agar menghasilkan tegangan *output* $V_{out} = 60V$.

Hasil simulasi pengujian rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* terhadap perubahan beban, ditunjukkan pada tabel sebagai berikut.

Tabel 3.3 Hasil simulasi pengujian rangkaian *Interleaved Boost Converter* terhadap perubahan beban.

Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Beban (Ω)	Pout (%)
17.89	2.810	60.03	0.834	50.271	50.065	72	100
18.73	2.410	60.03	0.750	45.139	45.023	80	90
19.21	2.086	60.04	0.667	40.072	40.047	90	80
19.56	1.793	60.00	0.583	35.071	34.980	102.86	70
19.84	1.517	60.00	0.500	30.097	30.000	120	60
20.09	1.251	60.02	0.417	25.133	25.028	144	50
20.31	0.991	60.00	0.333	20.127	19.980	180	40
20.51	0.739	60.02	0.250	15.157	15.005	240	30

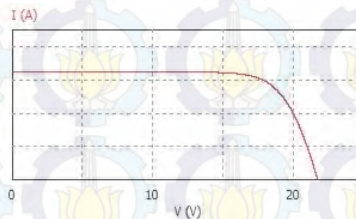
Dari data tabel diatas, dapat dilihat bahwa perubahan beban mengakibatkan perubahan arus *input* dan *output*, namun tegangan *output* dijaga tetap 60 V. Pada percobaan ini, dilakukan percobaan pada beban 100 % dengan beban resistansi sebesar 70 Ω sampai pada beban 30 % dengan beban resistansi sebesar 240 Ω . Penentuan besarnya beban resistansi didasarkan pada persamaan:

$$P = \frac{(V_o)^2}{R} \quad (3.5)$$

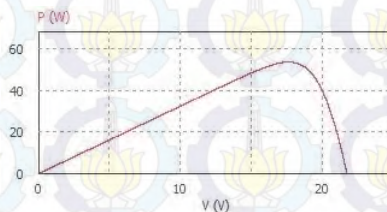
Sehingga:

$$R = \frac{(V_o)^2}{P} \quad (3.6)$$

Karena penggunaan modul *photovoltaic*, semakin kecil beban keluaran yang digunakan, maka tegangan output *photovoltaic* / tegangan *input* rangkaian semakin mendekati *rating open circuit voltage*, pada *photovoltaic*. Grafik karakteristik daya dan arus *photovoltaic*, dijelaskan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 3.9 Grafik karakteristik arus terhadap tegangan output *photovoltaic* model eS50236-PCM



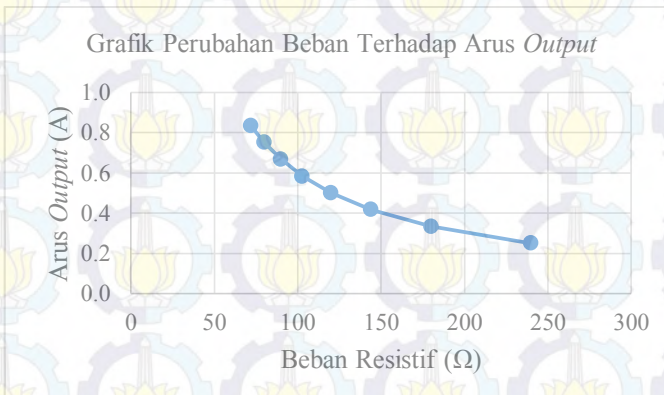
Gambar 3.10 Grafik karakteristik daya terhadap tegangan output *photovoltaic* model eS50236-PCM

Dari gambar grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa semakin kecil beban keluaran dalam watt, maka tegangan *photovoltaic* akan semakin mendekati rating tegangan *open circuit photovoltaic*.

Grafik perubahan beban terhadap daya keluaran, arus *input*, arus *output*, serta grafik arus *output* terhadap arus *input* dapat digambarkan sebagai berikut.



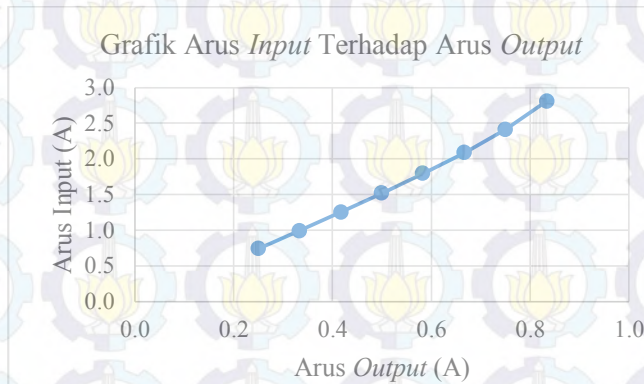
Gambar 3.11 Grafik perubahan beban terhadap arus *input*



Gambar 3.12 Grafik perubahan beban terhadap arus *output*

Pada gambar grafik diatas, dapat dilihat bahwa semakin besar beban resistansi yang diberikan, maka semakin kecil arus yang

dikeluarkan. Hal ini sesuai dengan rumus: $V = I \cdot R$, dimana, V : tegangan, I : arus, R : beban keluaran. Sedangkan grafik arus *input* terhadap arus *output* ditunjukkan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 3.13 Grafik arus *output* terhadap arus *input*

Berdasarkan gambar grafik 3.20, dapat dilihat bahwa besarnya daya keluaran akan menurun seiring dengan bertambahnya beban resistansi. Selain itu pada gambar grafik 3.21 dan 3.22, besarnya arus *input* dan arus *output* akan menurun seiring dengan bertambahnya beban resistansi yang digunakan.

Dari data tabel dan grafik simulasi pengujian rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* terhadap perubahan beban diatas, dapat dilihat bahwa efisiensi yang dihasilkan dari rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* sebesar 100%. Hal tersebut dibuktikan dengan sama besarnya daya masukan dan daya keluaran yang dihasilkan konverter tersebut. Hal ini dapat terjadi karena dalam simulasi, semua parameter komponen yang digunakan adalah ideal. Sehingga rugi-rugi pada konverter dapat diabaikan.

3.4.2 Pengujian Simulasi Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* terhadap Perubahan *Duty Cycle*

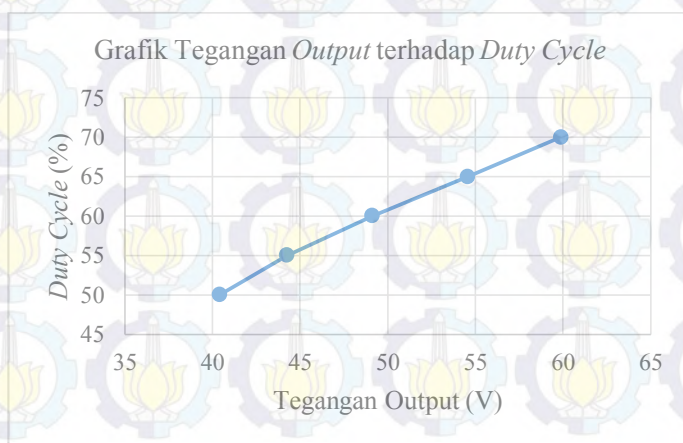
Pengujian simulasi rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* terhadap perubahan *duty cycle* dilakukan untuk mengetahui

perbandingan *duty cycle* terhadap tegangan keluaran yang dihasilkan. Pengujian ini menggunakan beban resistansi tetap sebesar 100 Ω . *Duty Cycle* yang diujikan adalah dari 50 % sampai 70 % dengan *interval* sebesar 5 %. Dari pengujian ini, diharapkan dapat mengetahui rasio konversi dari konverter. Tabel hasil simulasi pengujian rangkaian dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.4 Hasil simulasi pengujian rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* terhadap perubahan *duty cycle* (D).

D (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Vout Teori	Error (%)
50	20.20	1.126	40.40	0.561	40.40	0
55	19.91	1.451	44.24	0.632	44.24	0
60	19.65	1.709	49.12	0.682	49.12	0
65	19.10	2.172	54.56	0.757	54.57	0
70	17.96	2.784	59.87	0.831	59.87	0

Dari data hasil simulasi rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* terhadap perubahan *duty cycle*, dapat digambarkan pada grafik sebagai berikut.



Gambar 3. 14 Grafik tegangan *output* terhadap *duty cycle*

Dari data tabel diatas, dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai *duty cycle*, maka nilai tegangan yang dihasilkan konverter juga semakin besar. Tegangan keluaran yang dihasilkan pada simulasi, sesuai dengan tegangan keluaran sesuai teori yang telah dihitung secara *manual*. Hal ini dapat terjadi karena semua parameter komponen yang digunakan pada simulasi adalah ideal, sehingga rugi-rugi pada konverter dapat diabaikan.

3.5 Penentuan Parameter Komponen Rangkaian

3.5.1 Penentuan Nilai Induktor (L)

Induktor yang digunakan pada rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* adalah sebanyak 2 buah, dimana keduanya merupakan induktor yang identik. Sehingga nilai induktansi induktor 1 (L1) dan induktor 2 (L2) adalah sama besarnya. Sesuai persamaan yang telah dijelaskan pada bab 2, nilai induktansi dari induktor dapat ditentukan oleh persamaan berikut.

$$L = \frac{V_{in} \times D}{\Delta i_L \times f} \quad (3.7)$$

Sebelum dapat menentukan nilai induktansi dari kedua induktor tersebut, kita harus mengetahui besarnya arus yang mengalir pada induktor tersebut. Persamaan untuk menentukan nilai arus induktor akan dinyatakan oleh persamaan berikut.

$$I_L = \frac{V_o}{V_{in}} \times \frac{I_o}{2} \quad (3.8)$$

$$I_L = \frac{60}{18} \times \frac{0.6}{2}$$

$$I_L = 1 \text{ A}$$

Dengan mengasumsikan prosentase nilai *ripple* arus induktor sebesar 25%, maka nilai *ripple* arus induktor dapat dinyatakan oleh persamaan berikut.

$$\Delta i_L = \text{prosentase nilai ripple (\%)} \times I_L \quad (3.9)$$

$$\Delta i_L = 0.25 \times 1$$

$$\Delta i_L = 0.25 \text{ A}$$

Setelah nilai Δi_L didapatkan, maka kita dapat menentukan besarnya nilai kedua induktor yang akan digunakan dalam Tugas Akhir ini dengan persamaan sebagai berikut.

$$L = \frac{V_{in} \times D}{\Delta i_L \times f} \quad (3.10)$$

$$L = \frac{18 \times 0.7}{0.25 \times 20000}$$

$$L = 2.52 \text{ mH}$$

Jadi, nilai induktansi induktor 1 (L1) dan induktor 2 (L2) adalah sama, masing-masing sebesar 2.52 mH.

3.5.2 Penentuan Nilai Kapasitor (C)

Nilai kapasitor keluaran rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$C = \frac{I_o \times D}{f \times \Delta V_o} \quad (3.11)$$

Nilai tegangan kapasitor sama dengan nilai tegangan keluaran sebesar 60V. Asumsi prosentase nilai *ripple* tegangan *output* sebesar 1%. Jadi nilai *ripple* kapasitor dapat ditentukan dalam persamaan sebagai berikut.

$$\Delta V_o = \text{prosentase nilai tegangan (\%)} \times V_o \quad (3.12)$$

$$\Delta V_o = 0.01 \times 60$$

$$\Delta V_o = 0.6 \text{ V}$$

Setelah semua parameter yang dibutuhkan sudah ditentukan, maka nilai kapasitansi dari kapasitor yang dibutuhkan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$C = \frac{I_o \times D}{f \times \Delta V_o} \quad (3.13)$$

$$C = \frac{0.6 \times 0.7}{20000 \times 0.6}$$

$$C = 35 \mu F$$

Sesuai dengan perhitungan nilai kapasitor diatas, maka digunakanlah kapasitor dengan nilai 47 μF dengan nilai beda tegangan 100 V berdasarkan ketersediaan komponen di pasaran.



Gambar 3.15 Kapasitor keluaran yang digunakan pada *prototype*

3.6 Penentuan Parameter Induktor

Pada implementasinya, induktor yang digunakan merupakan induktor dengan jenis *toroid*. *Toroid* yang digunakan adalah *toroid* dengan seri CS572060. Sesuai dengan *datasheet*, *Toroid* dengan seri ini memiliki A_L sebesar 75 nH/N² dan permeabilitas sebesar 60 μ .

Karena besarnya arus yang melewati induktor adalah 1 Ampere, maka besarnya kawat email yang digunakan untuk dililitkan pada induktor adalah 0,8 mm. Kawat email dengan ukuran 0,8 mm digunakan karena kawat ini mampu menghantarkan arus hingga 3 Ampere.

Untuk menentukan banyaknya lilitan kawat email pada *toroid* ini digunakan rumus sebagai berikut.

$$n = 1000 \times \sqrt{\frac{L}{A_L}} \quad (3.14)$$

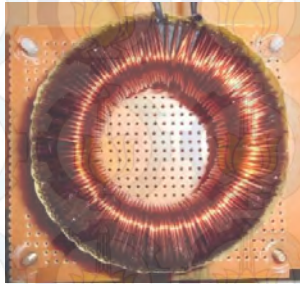
$$n = 1000 \times \sqrt{\frac{2.52}{75}}$$

$$n = 1000 \times 0.1833$$

$$n = 183.3$$

$$n \approx 184$$

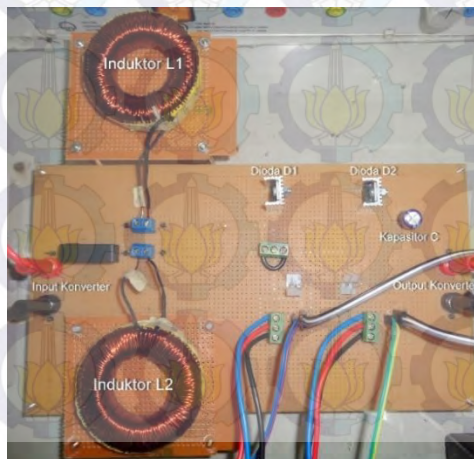
Jadi, untuk menghasilkan induktor dengan besar induktansi sebesar 2.52 mH, banyaknya lilitan kawat email pada induktor adalah 184 lilitan. Gambar *prototype* induktor ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.16 Induktor yang digunakan pada rangkaian *prototype*

3.7 Implementasi Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*

Implementasi rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* dapat dilakukan setelah menentukan parameter-parameter yang telah dijelaskan sebelumnya. Setelah semua parameter telah dicari dan ditentukan untuk diimplementasikan pada rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*, hasil implementasi dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3.17 *Prototype* rangkaian utama *Interleaved Boost Converter*

Berdasarkan gambar diatas, rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* terdiri dari dua buah Mosfet tipe NPN yang dipasang paralel. Mosfet yang digunakan adalah Mosfet dengan nomor seri IRFP460.

Selain itu, rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* menggunakan dua buah dioda. Dioda yang digunakan adalah diode dengan nomor seri BYC10-600 yang merupakan dioda dengan *ultrafast recovery*, sehingga cocok digunakan untuk kebutuhan *switching*.

Kapasitor keluaran yang digunakan pada rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* merupakan kapasitor yang berjenis *electrolit* (elco). Kapasitansi dari kapasitor keluaran sebesar 47 μF dengan kemampuan menahan beda tegangan sebesar 100 V.

Sedangkan induktor yang digunakan pada rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* terdiri dari dua buah induktor yang masing-masing memiliki nilai induktansi sebesar 2,52 mH. Induktor tersebut berjenis *toroid* dengan seri CS572060 yang memiliki A_L sebesar 75 dan permeabilitas sebesar 60 μ . Untuk menghasilkan nilai induktansi sebesar 2,52 mH, dibutuhkan sebanyak 184 banyak lilitan dengan menggunakan kawat email 0,8 mm yang mampu menghantarkan arus sampai 3 Ampere.

3.8 Pulse Width Modulation (PWM) Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*

Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) sebanyak dua buah. Dua buah sinyal PWM tersebut memiliki perbedaan fasa 180° seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Sinyal yang digunakan pada rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* dihasilkan oleh mikrokontroler ATMEGA 16. Frekuensi *external crystal* yang dipakai sebesar 10.24 MHz dengan mode *phase correct PWM*, sehingga frekuensi yang dihasilkan mikrokontroler ATMEGA 16 dapat ditentukan oleh persamaan sebagai berikut.

$$f_{PWM} = \frac{f_{crystal}}{N \times 510} \quad (3.15)$$

dimana:

N = Nilai prescaler = 1, 8, 64, 256, 1024

Dipilih $N = 1$, sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut.

$$f_{PWM} = \frac{10.24 \text{ MHz}}{1 \times 510}$$

$$f_{PWM} = \frac{10.24 \times 10^6}{1 \times 510}$$

$$f_{PWM} = 20078.43 \text{ Hz}$$

$$f_{PWM} = 20.078 \text{ kHz}$$

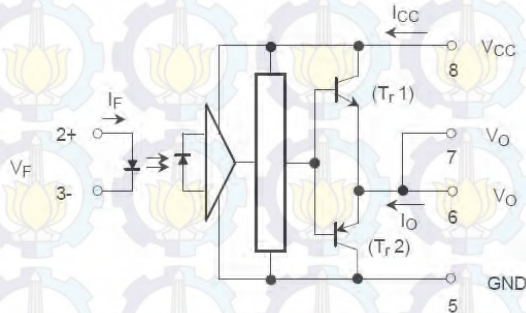
Jadi, frekuensi yang digunakan pada implementasi adalah sebesar 20.078 kHz. *Prototype* pembangkit sinyal PWM menggunakan mikrokontroler ATMEGA 16 ditunjukkan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 3.18 *Prototype* mikrokontroler ATMEGA 16

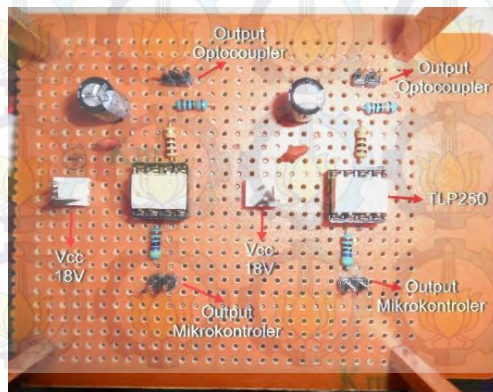
3.9 Perancangan Rangkaian *Optocoupler*

Rangkaian *optocoupler* merupakan suatu rangkaian yang berfungsi memindahkan sinyal gelombang dari rangkaian *control* untuk menjalankan rangkaian daya. Rangkaian *optocoupler* yang digunakan, diimplementasikan dengan IC TLP 250 yang merupakan IC *optocoupler* seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.19 Rangkaian TLP250

TLP250 merupakan *isolated driver* yang memiliki *delay* relatif lambat. Waktu *delay* biasanya terletak antara $0.15 \mu s$ dan $0.5 \mu s$. Berdasarkan datasheet TLP250, maksimum frekuensi yang dapat beroperasi sampai dengan 25 kHz. Bentuk *prototype* rangkaian *optocoupler* dengan IC TLP 250 digambarkan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 3.20 *Prototype* rangkaian *optocoupler*



BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

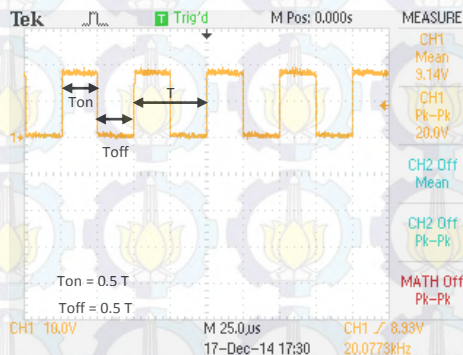
Pada bab ini, data hasil pengujian akan disajikan. Pengujian dilakukan dengan dua tipe, yaitu pengujian terhadap perubahan beban yang dilakukan untuk menentukan besarnya efisiensi maksimum konverter dan pengujian terhadap perubahan *duty cycle* yang dilakukan untuk mengetahui tingkat kesalahan tegangan pada *duty cycle* tertentu.

4.1 Pengujian Sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM)

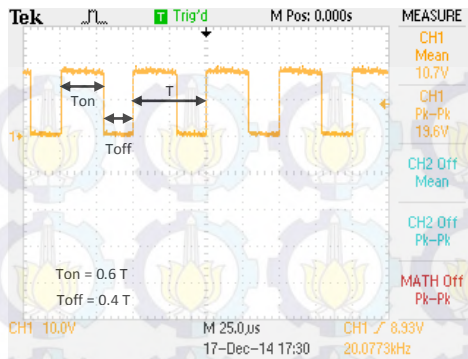
Pengujian sinyal keluaran PWM dan *optocoupler* pada *boost converter* dilakukan dengan cara mengubah-ubah *duty cycle* dari sinyal PWM, sehingga didapatkan sinyal kotak. Frekuensi yang digunakan pada PWM ini adalah sebesar 20.78 kHz. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *oscilloscope*.

4.1.1 *Boost Converter* Konvensional

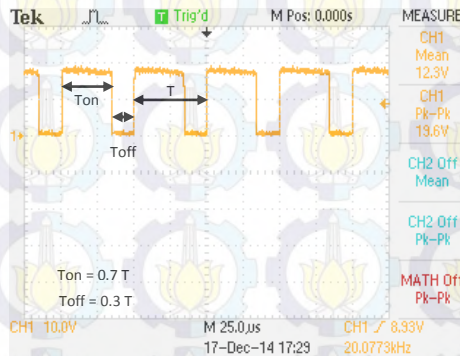
Sebagaimana kita tahu bahwa *boost converter* konvensional hanya menggunakan satu sinyal PWM. Pengujian ini dilakukan pada frekuensi yang sama, yaitu 20.78 kHz. Sinyal pengujian PWM akan dijelaskan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 4.1 Sinyal PWM *boost converter* saat *duty cycle* 50 %



Gambar 4.2 Sinyal PWM *boost converter* saat *duty cycle* 60 %

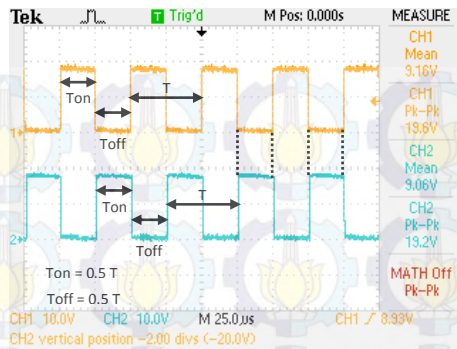


Gambar 4.3 Sinyal PWM *boost converter* saat *duty cycle* 70 %

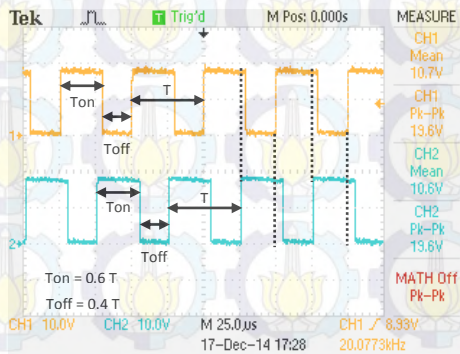
Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa *boost converter* konvensional hanya memiliki satu buah saklar, sehingga, sinyal PWM yang dibutuhkan hanya satu. Frekuensi perhitungan dengan frekuensi pada *prototype* juga tidak jauh berbeda, yakni 20.773 kHz.

4.1.2 *Interleaved Boost Converter*

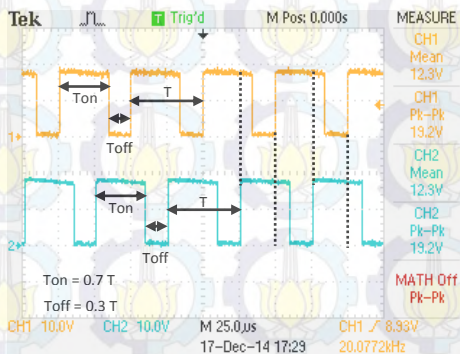
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* menggunakan dua buah sinyal PWM. Masing-masing sinyal PWM tersebut berbeda fasa sebesar 180°. Pengujian ini juga menggunakan frekuensi yang sama, yaitu sebesar 20.78 kHz.



Gambar 4.4 Sinyal PWM IBC saat *duty cycle* 50 %



Gambar 4.5 Sinyal PWM IBC saat *duty cycle* 60 %



Gambar 4.6 Sinyal PWM IBC saat *duty cycle* 70 %

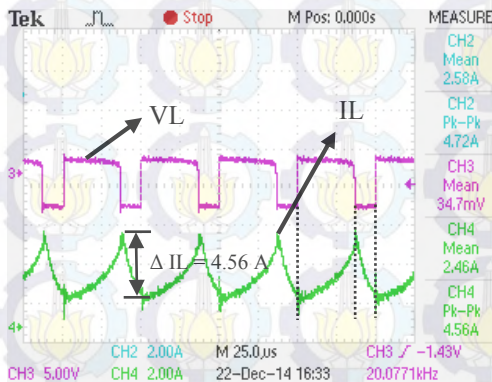
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* memiliki dua buah saklar. Sehingga sinyal PWM yang dibutuhkan sebanyak dua buah. Sinyal PWM 2 berbeda fasa 180° dengan sinyal PWM 1. Hal tersebut Nampak terlihat pada pengujian dengan osiloskop. Frekuensi pada pengujian juga tidak jauh berbeda dengan perhitungan, yakni 20.78 kHz.

4.2 Pengujian Arus dan Tegangan

Pengujian arus dan tegangan ini bertujuan untuk mengetahui *ripple* arus *input* dan *output* serta tegangan *input* dan *output*. Selain itu, pengujian terhadap tegangan arus *charging* induktor I_L juga akan ditampilkan pada sub-bab ini.

4.2.1 Boost Converter Konvensional

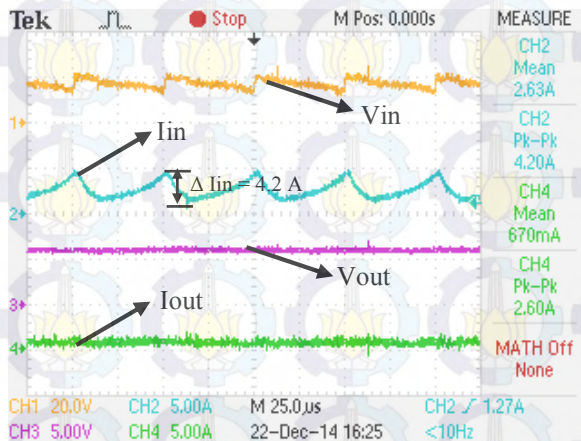
Pengujian arus dan tegangan pada *boost converter* konvensional bertujuan untuk mengamati sinyal arus dan tegangan pada sisi *input* dan *output*. Selain itu, tegangan dan arus *charging* pada induktor juga akan dibahas pada sub-bab ini. Sinyal tegangan dan arus *charging* pada induktor dijelaskan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 4.7 Gelombang tegangan dan arus *charging boost converter* pada induktor 1 & 2

Seperti yang terlihat pada gambar diatas, arus *charging* pada induktor sama dengan arus *input*, sehingga arus *input* memiliki *ripple*

yang cukup tinggi. Sedangkan besarnya *ripple* arus *input*, ditunjukkan pada gambar sebagai berikut.

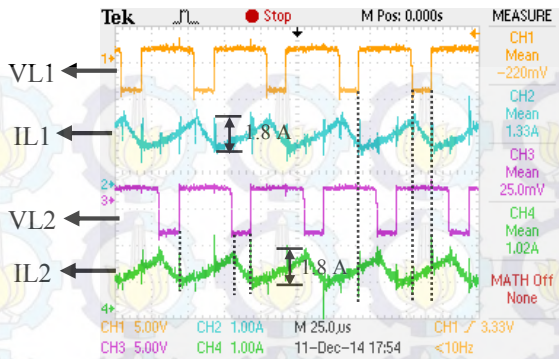


Gambar 4.8 Gelombang tegangan dan arus *input* & *output* *boost converter* konvensional

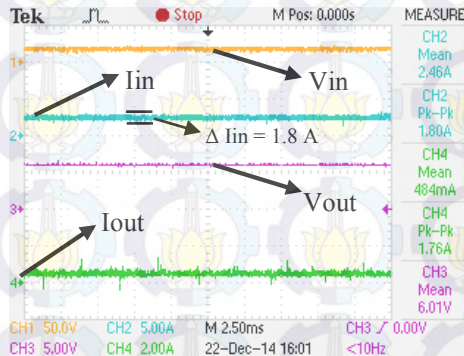
Pada gambar diatas, terlihat bahwa *boost converter* konvensional memiliki *ripple* arus *input* yang cukup tinggi, yaitu sebesar 4.2 A. Sedangkan *ripple* arus *output* yang dihasilkan adalah sebesar 2.6 A. *Ripple* arus *input* dan *output* yang ada pada konverter akan sangat mempengaruhi besarnya efisiensi yang dapat dihasilkan konverter. Oleh karena itu, *boost converter* konvensional akan dibandingkan dengan *Interleaved Boost Converter*.

4.2.2 *Interleaved Boost Converter*

Pengujian arus dan tegangan pada *Interleaved Boost Converter* juga bertujuan untuk mengamati sinyal arus dan tegangan pada sisi *input* dan *output*. Selain itu, tegangan dan arus *charging* pada induktor IBC juga akan dibahas pada sub-bab ini. Gelombang tegangan dan arus *charging* pada induktor 1 (V_{L1} & I_{L1}) dan induktor 2 (V_{L2} & I_{L2}) dijelaskan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 4.9 Gelombang tegangan dan arus charging *Interleaved Boost Converter* pada induktor 1 & 2



Gambar 4.10 Gelombang tegangan dan arus *input & output Interleaved Boost Converter*

Pada gambar diatas, terlihat bahwa *Interleaved Boost Converter* memiliki ripple arus input yang sangat kecil dibandingkan *boost converter* konvensional, yaitu sebesar 1.8 A. Sedangkan ripple arus output yang dihasilkan *Interleaved Boost Converter* juga lebih kecil dibandingkan *boost converter* konvensional, yaitu sebesar 1.76 A.

4.3 Pengujian Terhadap Perubahan Beban

Pengujian terhadap perubahan beban dilakukan untuk melihat besarnya efisiensi yang dihasilkan dari konverter. Pengujian ini dilakukan pada *boost converter* konvensional dan *Interleaved Boost Converter*

dengan parameter yang sama. Hal ini dilakukan untuk membandingkan efisiensi yang dapat dihasilkan masing-masing konverter.

4.3.1 *Boost Converter* Konvensional

Pengujian ini dilakukan pada tegangan *input* sebesar 18 V dan tegangan *output* dipertahankan sebesar 60 V. Hasil yang didapatkan ditulis pada tabel sebagai berikut.

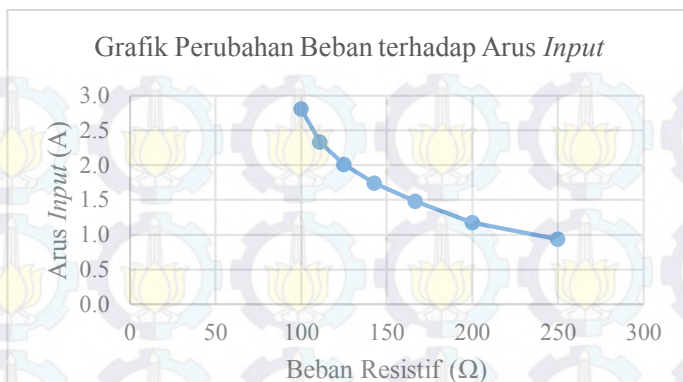
Tabel 4.1 Data hasil pengujian *boost converter* konvensional terhadap perubahan beban

Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (mA)	Pin (W)	Pout (W)	Pout (%)	Efisiensi (%)
17.8	2.81	60.1	625	50.02	37.56	100	75.10
17.9	2.33	59.5	554	41.70	32.96	90	79.03
18.1	2.01	59.4	493	36.38	29.28	80	80.49
18.1	1.74	60.1	429	31.49	25.78	70	81.87
17.9	1.48	60.0	364	26.49	21.84	60	82.44
18.0	1.17	59.0	301	21.06	17.74	50	84.33
18.1	0.94	59.5	230	16.99	13.69	40	80.52

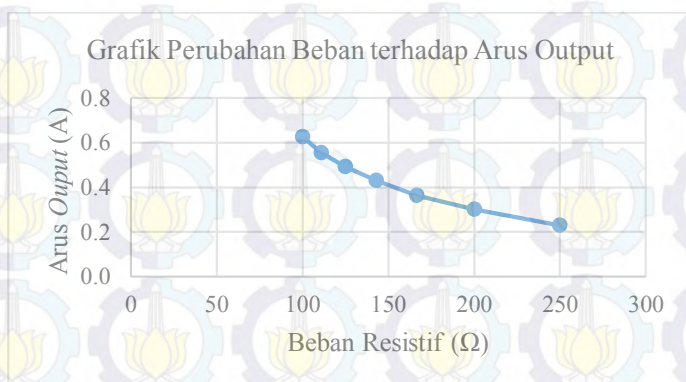
Setelah dilakukan pengujian terhadap perubahan beban yang dilakukan pada *boost converter* konvensional, dapat ditarik kesimpulan bahwa efisiensi tertinggi yang dapat dihasilkan oleh *boost converter* konvensional terletak pada beban 50%, yaitu sebesar 84.33%. Sedangkan untuk efisiensi terburuk terletak pada beban penuh (100%), yaitu sebesar 75.10%.

Pada pengujiannya, terbukti bahwa *boost converter* konvensional kurang cocok digunakan pada rasio konversi yang cukup tinggi. Dibuktikan dengan berderingnya suara induktor pada pengujiannya. Hal ini dapat terjadi karena arus input sama besar dengan arus yang mengalir pada induktor.

Representasi data dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.

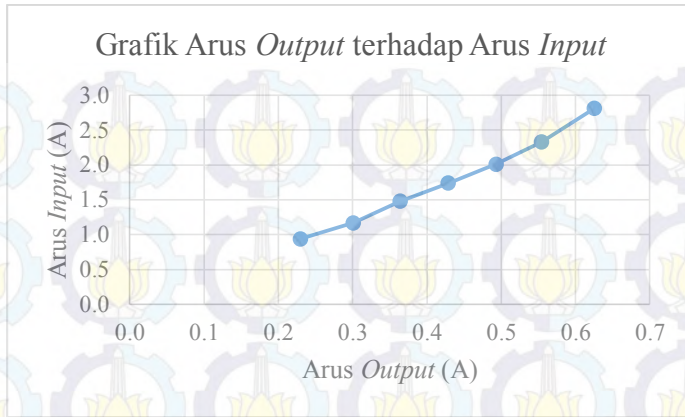


Gambar 4.11 Grafik perubahan beban terhadap arus *input boost converter* konvensional

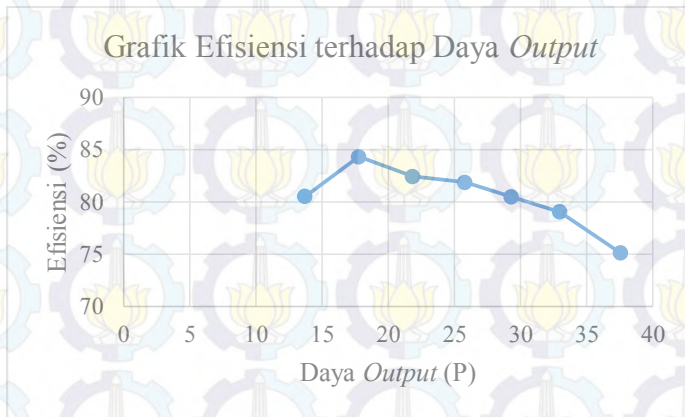


Gambar 4.12 Grafik perubahan beban terhadap arus *output boost converter* konvensional

Seperti yang ditunjukkan pada gambar grafik diatas, arus *input* akan menurun seiring dengan berkurangnya daya keluaran. Demikian juga arus *output* akan menurun seiring dengan berkurangnya beban keluaran. Jadi dapat ditarik kesimpulan bahwa arus *input*, berbanding lurus dengan arus *output*. Gambar grafik arus *input* terhadap arus *output* dapat dijelaskan pada gambar sebagai berikut.

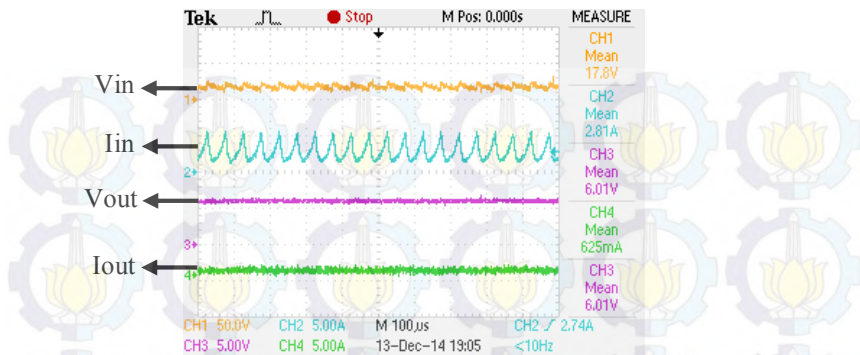


Gambar 4.13 Grafik arus *output* terhadap arus *input* boost converter konvensional



Gambar 4.14 Grafik efisiensi terhadap daya *output* boost converter konvensional

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa efisiensi yang dihasilkan dari *boost converter* konvensional terletak pada *range* 75.10% - 84.33%. Gambar sinyal tegangan masukan, tegangan keluaran, arus masukan, dan arus keluaran yang dapat dilihat dari osiloskop, digambarkan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 4.15 Gelombang tegangan dan arus *input & output boost converter* pada beban penuh

Seperti yang terlihat pada gambar diatas, pada *boost converter* konvensional memiliki *ripple* arus *input* dan *output* yang cukup besar. Hal ini dapat mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan konverter menjadi buruk.

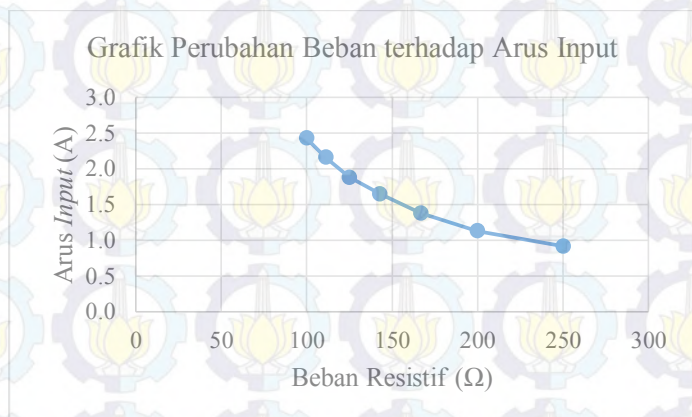
4.3.2 *Interleaved Boost Converter*

Pengujian pada rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* juga dilakukan pada tegangan *input* sebesar 18 V dan tegangan *output* dipertahankan sebesar 60 V. Hasil dari data yang didapatkan ditulis pada tabel sebagai berikut.

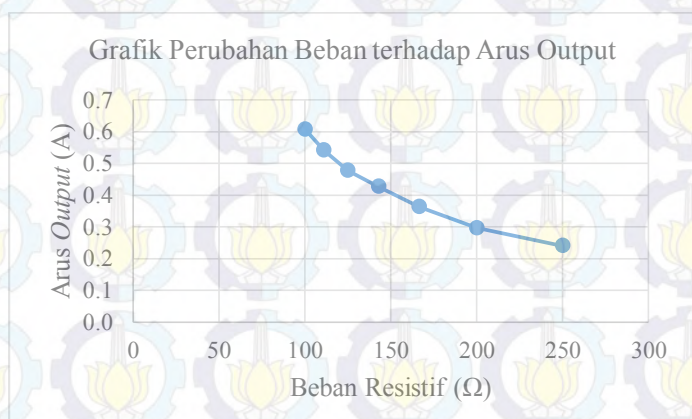
Tabel 4.2 Data hasil pengujian *Interleaved Boost Converter* terhadap perubahan beban

Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (mA)	Pin (W)	Pout (W)	Pout (%)	Efisiensi (%)
18.1	2.43	60.0	608	43.98	36.48	100	82.94
18.0	2.16	60.0	541	38.88	32.46	90	83.49
18.1	1.88	60.0	477	34.03	28.62	80	84.11
18.0	1.65	60.1	427	29.70	25.66	70	86.41
18.1	1.38	59.9	363	24.98	21.74	60	87.05
18.0	1.13	60.1	297	20.34	17.85	50	87.76
18.0	0.92	60.1	240	16.49	14.42	40	87.48

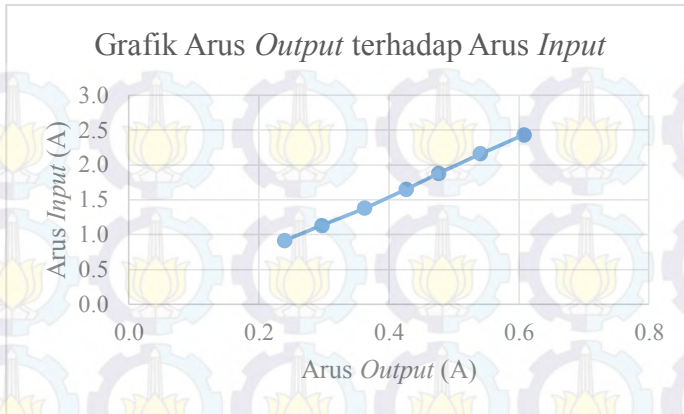
Setelah pengujian yang dilakukan pada rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter*, dapat ditarik kesimpulan bahwa efisiensi tertinggi yang dimiliki *Interleaved Boost Converter* terletak juga pada beban 50 %, yaitu sebesar 87.76 %. Sedangkan untuk efisiensi terendah, terletak pada beban penuh (100 %), yaitu sebesar 82.94 %. Grafik data pengujian diatas, dapat dilihat dalam bentuk grafik sebagai berikut.



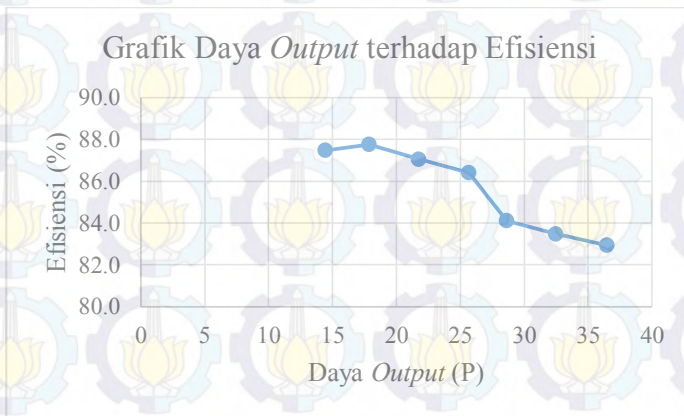
Gambar 4.16 Grafik perubahan beban terhadap arus *input* *Interleaved Boost Converter*



Gambar 4.17 Grafik perubahan beban terhadap arus *output* *Interleaved Boost Converter*



Gambar 4.18 Grafik arus *output* terhadap arus *input* IBC

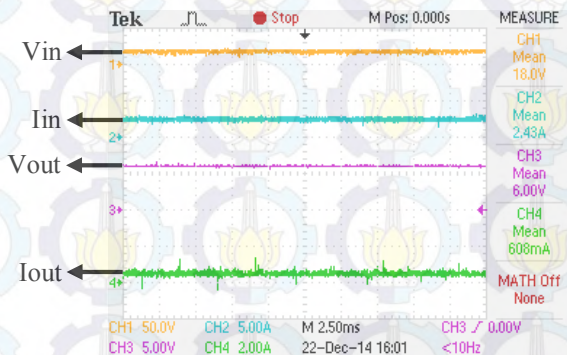


Gambar 4.19 Grafik daya *output* terhadap efisiensi IBC

Gambar grafik diatas merupakan hasil representasi dari tabel data pengujian. Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa besarnya efisiensi yang dihasilkan dari *Interleaved Boost Converter* lebih baik dari boost converter konvensional. Hal tersebut dapat dilihat dari grafik efisiensi. *Interleaved Boost Converter* dapat menghasilkan efisiensi dalam range 82.94% – 87.76%. Berbeda dengan *boost konverter* konvensional yang dapat menghasilkan efisiensi dalam range 75.10% – 84.33%. Pada beban penuh (*full load*), *Interleaved Boost Converter* dapat menghasilkan

efisiensi sebesar 82.94%, berbeda dengan *boost converter* konvensional yang hanya dapat menghasilkan efisiensi sebesar 75.10% pada beban penuh.

Jadi efisiensi tertinggi yang dimiliki *Interleaved Boost Converter* lebih besar dibandingkan *boost converter* konvensional. *Interleaved Boost Converter* dapat menghasilkan efisiensi hingga 87.76%. Sedangkan *boost converter konvensional* hanya mampu menghasilkan efisiensi hingga 84.33%.



Gambar 4.20 Gelombang tegangan dan arus input & output *Interleaved Boost Converter* pada beban penuh

Boost converter konvensional memiliki *range* efisiensi sebesar 9.23%. Hal ini dinilai bahwa *boost converter* konvensional memiliki efisiensi yang kurang stabil apabila dibandingkan dengan *range* efisiensi *Interleaved Boost Converter* sebesar 4.82%.

4.4 Pengujian Terhadap Perubahan Duty Cycle

Pengujian terhadap perubahan *duty cycle* dilakukan untuk melihat besarnya *error* tegangan yang dihasilkan dari konverter. Pengujian ini dilakukan pada *boost converter* konvensional dan *Interleaved Boost Converter* dengan parameter yang sama. Pengujian ini menggunakan parameter-parameter yang sama, diantaranya adalah beban resistansi $R = 100\Omega$, penggunaan kapasitor dan induktor yang nilainya sama dengan kapasitor dan induktor yang digunakan pada *Interleaved Boost Converter*.

Hal ini dilakukan untuk membandingkan besarnya *error* tegangan yang dapat dihasilkan masing-masing konverter pada *duty cycle* tertentu.

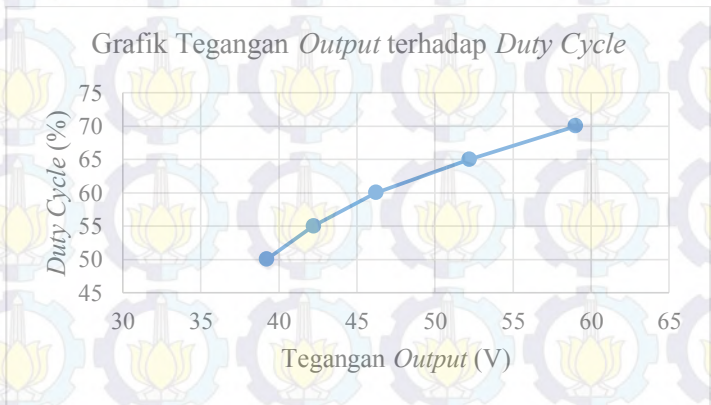
4.4.1 Boost Converter Konvensional

Setelah dilakukan pengujian terhadap perubahan *duty cycle* (D) pada *boost converter* konvensional, data hasil pengujian yang didapat, dijelaskan pada tabel sebagai berikut.

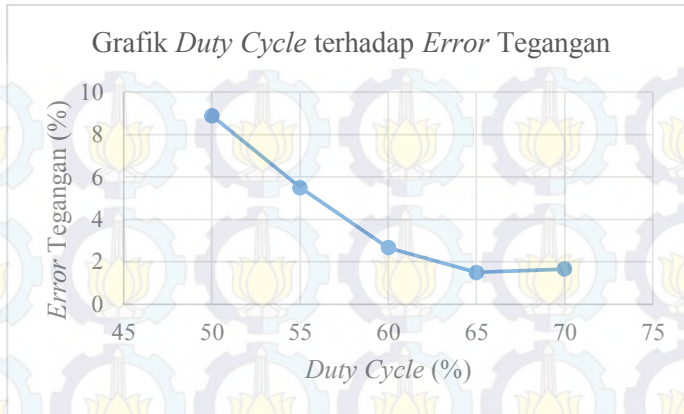
Tabel 4.3 Data hasil pengujian *boost converter* konvensional terhadap perubahan *duty cycle*

D (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Vout Teori	Error (%)
50	18	1.02	39.2	0.425	36	8.89
55	18	1.19	42.2	0.477	40	5.5
60	18	1.41	46.2	0.52	45	2.67
65	18	1.78	52.2	0.582	51.43	1.5
70	18	2.47	59	0.619	60	1.67

Representasi data pengujian *boost converter* konvensional terhadap perubahan *duty cycle*, dapat digambarkan pada grafik sebagai berikut.



Gambar 4.21 Grafik tegangan *output* terhadap *duty cycle* *boost converter* konvensional



Gambar 4.22 Grafik *duty cycle* terhadap *error tegangan boost converter konvensional*

Dari data hasil pengujian diatas, *error* tegangan maksimum yang dihasilkan *boost converter* konvensional terletak pada *duty cycle* 50 %, yaitu sebesar 8.89 %. Sedangkan untuk *error* tegangan terkecil terletak pada *duty cycle* 65 %, yaitu sebesar 1.5 %.

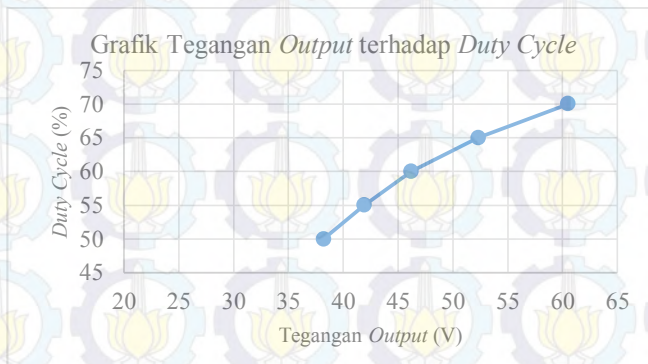
4.4.2 *Interleaved Boost Converter*

Setelah dilakukan pengujian terhadap perubahan *duty cycle* (D) pada *Interleaved Boost Converter*, data hasil pengujian yang didapat, dijelaskan pada tabel sebagai berikut.

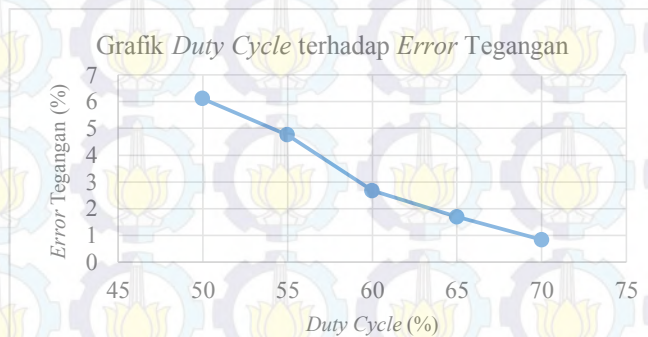
Tabel 4.4 Data hasil pengujian *Interleaved Boost Converter* terhadap perubahan *duty cycle*

D (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Vout Teori	Error (%)
50	18	0.878	38.2	0.413	36	6.11
55	18	1.05	41.9	0.443	40	4.75
60	18	1.3	46.2	0.469	45	2.667
65	18	1.74	52.3	0.53	51.43	1.69
70	18	2.247	60.5	0.622	60	0.83

Representasi data pengujian *Interleaved Boost Converter* terhadap perubahan *duty cycle*, dapat digambarkan pada grafik sebagai berikut.



Gambar 4.23 Grafik tegangan *output* terhadap *duty cycle* IBC



Gambar 4.24 Grafik *duty cycle* terhadap *error* tegangan IBC

Dari data hasil pengujian diatas, *error* tegangan maksimum yang dihasilkan *Interleaved Boost Converter* terletak pada *duty cycle* 50%, yaitu sebesar 6.11%. Sedangkan untuk *error* tegangan terkecil terletak pada *duty cycle* 70%, yaitu sebesar 0.83%.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa *error* tegangan keluaran yang dimiliki *boost converter* konvensional lebih besar dibandingkan dengan *error* tegangan yang dimiliki *Interleaved Boost Converter*. Hal ini terjadi karena *Interleaved Boost Converter* memiliki 2 buah *switching device*.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi, analisis data pengujian, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* memiliki rasio konversi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *boost converter* konvensional. *Interleaved Boost Converter* dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 60.5 V pada *duty cycle* 70%, sedangkan *boost converter* konvensional hanya menghasilkan tegangan keluaran sebesar 59 V pada *duty cycle* yang sama.
2. Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* memiliki *ripple* arus *input* dan *output* yang lebih kecil dibandingkan dengan *boost converter* konvensional. *Interleaved Boost Converter* dapat menghasilkan *ripple* arus *input* sebesar 1.8 A pada *duty cycle* 70% dengan beban penuh, sedangkan *boost converter* konvensional menghasilkan *ripple* arus *input* sebesar 4.2A pada *duty cycle* dan beban yang sama.
3. Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *boost converter* konvensional. *Interleaved Boost Converter* dapat menghasilkan efisiensi sebesar 87.76 % pada beban 18 W (50%), sedangkan *boost converter* konvensional hanya menghasilkan efisiensi sebesar 84.33 % pada beban yang sama.
4. Rangkaian DC-DC *Interleaved Boost Converter* memiliki *error* tegangan keluaran yang lebih kecil dibandingkan dengan *boost converter* konvensional. *Interleaved Boost Converter* dapat menghasilkan *error* tegangan keluaran sebesar 6.11% pada *duty cycle* 50%, sedangkan *boost converter* konvensional hanya menghasilkan *error* tegangan keluaran sebesar 8.89 % pada *duty cycle* yang sama.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan sehubungan dengan Tugas Akhir ini antara lain:

1. Untuk lebih memperbaiki efisiensi dan performansi, *Interleaved Boost Converter* juga dapat diterapkan dengan tingkatan yang lebih. Atau dengan kata lain ialah dengan menggabungkan lebih dari 2 *boost converter* konvensional yang disusun paralel sehingga dapat menghasilkan *ripple* arus *input* dan *output* yang lebih kecil untuk meningkatkan efisiensi.
2. Selain itu, untuk mengurangi rugi-rugi, meningkatkan efisiensi dan performansi, kontrol PI atau PID dapat diterapkan pada *Interleaved Boost Converter*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Melzi Ambar Mazta, A. Saudi Samosir, *Interleaved Boost Converter*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung
- [2] Chen Chunliu, Wang Chenghua, Hong Feng, *Research of an Interleaved Boost Converter with four Interleaved Boost Convert Cells*, Microelectronics & Electronics, 2009. PrimeAsia 2009. Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in, January 2009, Shanghai.
- [3] Ashari, Mochamad, 2012, *Sistem Konverter DC, Desain Rangkaian Elektronika Daya*, ITS Press, Surabaya.
- [4] Jun Wen, Taotao Jin, Keyue Smedley, *A New Interleaved Isolated Boost Converter for High Power Applications*, Power Electronics Laboratory, University of California, 2006, Irvine, CA.
- [5] Handini, Wulandari, *Performa Sel Surya*, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 2008, Indonesia.
- [6] C.N.M. Ho, H. Breuninger, S. Pettersson, G. Escobar, L. Serpa, A. Cocia, *Practical Implementation of an Interleaved Boost Converter using SiC Diodes for PV Applications*, 8th International Conference on Power Electronics – ECCE Asia, June 2011, The Shilla Jeju, South Korea.
- [7] Ismail, Shahrizan Bin, *Interleaved DC-DC Boost Converter*, Universiti Teknologi Malaysia, 2011, Malaysia.
- [8] F. Nasution, *Mikrokontroler ATMEGA16*, Universitas Sumatera Utara, 2011, Medan, Sumatera Utara.



LAMPIRAN

LIST PROGRAM PWM

```
/*  
****
```

This program was produced by the
CodeWizardAVR V2.05.0 Evaluation
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2010 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
<http://www.hpinfotech.com>

Project :
Version :
Date : 19/11/2014
Author : Freeware, for evaluation and non-commercial use
only
Company :
Comments:

Chip type : ATmega16
Program type : Application
AVR Core Clock frequency: 10,240000 MHz
Memory model : Small
External RAM size : 0
Data Stack size : 256

```
*****  
****/
```

```
#include <mega16.h>  
#include <delay.h>  
#include <alcd.h>
```



```
#include <stdlib.h>
```

```
unsigned char DC1[10],DC2[10];
```

```
int mengisi,ns;
```

```
void in(int nin)
```

```
{  
    if (nin == 10){mengisi = 1; ns = 0;}  
    else if (mengisi == 1){ns = ns+(nin*100); mengisi=2;}  
    else if (mengisi == 2){ns = ns+(nin*10); mengisi=3;}  
    else if (mengisi == 3){ns = ns+nin; mengisi=4;}  
    else if (nin == 11){mengisi = 0; OCR0 = ns*2.55;}  
    else if (nin == 12){mengisi = 0; OCR2 = ns*2.55;}  
}
```

```
void tekan_keypad_tampil_lcd() //penekanan keypad  
kemudian ditampilkan di LCD
```

```
{  
    lcd_clear();  
    lcd_gotoxy(0,0);  
    PORTC = 0b11111110; delay_ms(5);  
    if (PINC.4 == 0) {lcd_putsf("1"); in(1);  
delay_ms(1000);}  
    else if (PINC.5 == 0) {lcd_putsf("2"); in(2);  
delay_ms(1000);}  
    else if (PINC.6 == 0) {lcd_putsf("3"); in(3);  
delay_ms(1000);}  
    else if (PINC.7 == 0) {lcd_putsf("COR");  
delay_ms(1000);}  
}
```

```
PORTC = 0b11111101; delay_ms(5);  
if (PINC.4 == 0) {lcd_putsf("4"); in(4);  
delay_ms(1000);}  
}
```

```

    else if (PINC.5 == 0) {lcd_putsf("5"); in(5);
delay_ms(1000);}
    else if (PINC.6 == 0) {lcd_putsf("6"); in(6);
delay_ms(1000);}
    else if (PINC.7 == 0) {lcd_putsf("MEN");
delay_ms(1000);}

    PORTC = 0b1111011; delay_ms(5);
    if (PINC.4 == 0) {lcd_putsf("7"); in(7);
delay_ms(1000);}
    else if (PINC.5 == 0) {lcd_putsf("8"); in(8);
delay_ms(1000);}
    else if (PINC.6 == 0) {lcd_putsf("9"); in(9);
delay_ms(1000);}
    else if (PINC.7 == 0) {lcd_putsf("Atas");in(11);
delay_ms(1000);}

```

```

    PORTC = 0b1111011; delay_ms(5);
    if (PINC.4 == 0) {lcd_putsf("CAN"); delay_ms(1000);}
    else if (PINC.5 == 0) {lcd_putsf("0"); in(0);
delay_ms(1000);}
    else if (PINC.6 == 0) {lcd_putsf("ENT");in(10);
delay_ms(1000);}
    else if (PINC.7 == 0) {lcd_putsf("Bawah"); in(12)
;delay_ms(1000);}
}

```

```

void main(void)
{DDRB = 0xFF;
 DDRD = 0xFF;
 DDRC = 0x0F;

```

```
DDRA = 0x0F;  
PORTA= 0xFF;
```

```
TCCR0 = 0b01100001;  
TCNT0 = 0;
```

```
TCCR2 = 0b01100001;  
TCNT2 = 250;
```

```
OCR0 = 51;  
OCR2 = 51;
```

```
// Alphanumeric LCD initialization
```

```
// Connections specified in the
```

```
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric  
LCD menu:
```

```
// RS - PORTA Bit 0
```

```
// RD - PORTA Bit 1
```

```
// EN - PORTA Bit 2
```

```
// D4 - PORTA Bit 4
```

```
// D5 - PORTA Bit 5
```

```
// D6 - PORTA Bit 6
```

```
// D7 - PORTA Bit 7
```

```
// Characters/line: 16
```

```
lcd_init(16);
```

```
while (1)
```

```
{  
    itoa(OCR0*0.4,DC1);  
    itoa(OCR2*0.4,DC2);
```

```
lcd_gotoxy(0,0);  
lcd_puts("DutyCycle1: ");  
lcd_puts(DC1);  
lcd_puts("%");  
  
lcd_gotoxy(0,1);  
lcd_puts("DutyCycle2: ");  
lcd_puts(DC2);  
lcd_puts("%");  
  
delay_ms(100);  
tekan_keypad_tampil_lcd();  
}  
}
```




RIWAYAT HIDUP PENULIS



Aufar Gusviandi Pratama lahir di Jakarta pada 17 Agustus 1992, anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menyelesaikan studi dan lulus dari TK Perwara Jakarta, SD Perguruan Cikini Jakarta, SMP Perguruan Cikini Jakarta, SMA Negeri 3 Jakarta. Saat ini Penulis sedang menyelesaikan studinya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro dengan bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis telah mengikuti beberapa kursus untuk menunjang studinya, yaitu diantaranya adalah: kursus Bahasa Inggris di *International Language Program* (ILP) Cikini Jakarta tahun 2005-2007, kursus Gitar di *Yamaha Music School* Bungur Jakarta 2009-2010, EF *English First* Surabaya 2013-2014. Penulis mempunyai hobi *travelling*, *photography*, *aeromodelling*, *flight simulations*, *badminton*, renang dan sepak bola. Penulis mempunyai motto hidup “*follow your dreams and keep giving it your all*”.

